



Pedro Alexandre Gonçalves Martinho

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Análise do comportamento de argamassas com a incorporação de “pellets” de madeira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Luís Gonçalo Correia Baltazar, Investigador Pós-doc,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Corneliu Cismasiu

Arguente: Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Vogal: Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Maio 2017

“Copyright” Pedro Alexandre Gonçalves Martinho, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Esta dissertação representa a conclusão de um longo caminho, cheio de obstáculos, que se tornaram mais fáceis de ultrapassar graças à ajuda de várias pessoas. A todos estou eternamente grato.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao Professor Luís Baltazar, orientador deste trabalho, pela aceitação imediata em orientar-me, pela disponibilidade demonstrada ao longo de todo o trabalho, a maneira simples e humilde com que sempre me tratou foram um aspeto importantíssimo que não esquecerei, e por todo o conhecimento transmitido.

Em segundo lugar quero deixar uma palavra de agradecimento ao Eng.º Vítor Silva por todo o auxílio e disponibilidade demonstrados ao longo da campanha experimental, transmissão de conhecimento e experiências enriquecedoras, não esquecendo a simpatia e humildade demonstradas.

Em seguida quero demonstrar o meu agradecimento profundo a quem teve uma participação mais ativa em todo o meu percurso académico, os meus colegas de curso. Aos que conheci no primeiro dia, e perduram até hoje, aos que, entretanto, saíram, aos que fui conhecendo ao longo destes anos e aos que apenas ajudaram pontualmente, a todos estou eternamente grato.

Aos meus amigos não-estudantes que, mesmo não conseguindo ajudar diretamente, sempre me apoiaram incondicionalmente.

Por fim, um agradecimento à minha família, principalmente aos meus pais por não me deixaram cair em momentos de aperto e desânimo, sem a sua força, crença e sacrifício eu não estaria neste momento a escrever estas palavras.

A todos,

MUITO OBRIGADO

Resumo

A indústria da construção civil é responsável, por um lado, pelo consumo elevado de matérias primas e recursos naturais e, por outro, pela produção de grandes quantidades de resíduos de construção e demolição.

No consumo de recursos naturais engloba-se a extração de areias, que constitui um processo de erosão, transporte e deposição de sedimentos induzida artificialmente. Este processo leva à redução de sedimentos nas praias fluviais, à alteração da vegetação, habitats e paisagem nas margens de rios, a uma maior erosão provocada nas zonas costeiras e também a graves alterações ao nível das correntes. A conjugação de alguns dos impactos atrás mencionados pode levar a consequências de valor humano bem mais grave, como foi o caso da queda da ponte de Entre-os-Rios em 2001.

Os pellets de madeira (*wood pellets* em inglês) são um produto ecológico utilizado, maioritariamente, como fonte de aquecimento ou produção de energia no mercado doméstico e industrial. São fabricados a partir de madeira limpa proveniente da indústria de transformação de madeira e dos restos de madeira recolhidos na limpeza de florestas, como cascas e ramagens. Os desperdícios de madeira (biomassa) são depois de triturados transformados num serrim que é sujeito a elevada temperatura de modo a eliminar quaisquer resina e humidade. Dado que Portugal é um país com tradição na exploração de produtos de madeira e derivados, leva a que existam algumas fábricas e, consequentemente, uma grande quantidade de desperdícios de madeira. Pelo que os pellets de madeira são um produto disponível no mercado nacional e com potencial de utilização noutras indústrias para além da bioenergia.

Com o intuito de aumentar a sustentabilidade na construção civil têm sido realizados estudos no sentido de avaliar a substituição de agregados naturais por produtos reciclados. No âmbito desses estudos surge a presente dissertação, que pretende avaliar o desempenho de argamassas com a incorporação de pellets de madeira em substituição da areia. Para tal foram realizadas argamassas de cimento ao traço volumétrico 1:0,96 (ligante: agregado), uma argamassa de referência sem pellets e quatro com substituição parcial de areia por pellets (10%, 20%, 30% e 40%).

A incorporação de pellets em argamassas conduziu, entre outros aspetos, à diminuição das resistências mecânicas, ao aumento da porosidade aberta e a uma diminuição da condutibilidade térmica. Os resultados obtidos são bastante aceitáveis e encorajadores para o seguimento de estudos utilizando pellets de madeira, tendo por objetivo o desenvolvimento e otimização de produtos cimentícios termicamente mais sustentáveis e amigos do meio ambiente.

Palavras-chave: Argamassa, Cimento, Reboco, Resíduos, Sustentabilidade, *Wood pellets*

Abstract

The construction industry is responsible, on the one hand, for the high consumption of raw materials and natural resources and, on the other, for the production of large quantities of construction and demolition waste.

In the consumption of natural resources is included the extraction of sand, which is an artificially induced process of erosion, transport and deposition of sediments. This process leads to sediment reduction on river beaches, alteration of vegetation, habitats and landscape in the river banks, increased erosion in coastal areas and severe changes in currents. The combination of some of the aforementioned impacts can lead to much more serious consequences of human value, such as the fall of the Entre-os-Rios bridge in 2001.

Wood pellets are an ecological product used mostly as a source of heating or energy production in the domestic and industrial market. They are made from clean wood from the wood processing industry and wood debris collected in the clearing of forests, such as bark and branches. The wood waste (biomass) is then ground, processed into a sawmill which is subjected to high temperature in order to eliminate any resin and moisture. Since Portugal is a country with a tradition in the exploitation of wood products and derivatives, it leads to the existence of some factories and, consequently, a large amount of wood waste. As a result, wood pellets are a product available on the national market and potentially of use in other industries besides bioenergy.

In order to increase sustainability in construction, studies have been carried out to evaluate the replacement of natural aggregates by recycled products. In the context of these studies the present dissertation appears, that intends to evaluate the performance of mortars with the incorporation of wood pellets in substitution of the sand. For this purpose, 1: 0.96 (binder: aggregate) cement mortar was used, a reference mortar without pellets and four with partial replacement of sand by pellets (10%, 20%, 30% and 40%).

The incorporation of pellets into mortars led, among other aspects, to a decrease in mechanical strength, an increase in open porosity and a decrease in thermal conductivity. The results obtained are quite acceptable and encouraging for the follow-up of studies using wood pellets, aiming at the development and optimization of thermally sustainable cement products that are friendly to the environment.

Keywords: Cement, Mortar, Plaster, Sustainability, Waste, Wood pellets

Índice de texto

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento geral	1
1.2	Objetivos e metodologia	2
1.3	Estrutura e organização do trabalho	2
2	Análise do conhecimento	5
2.1	Argamassas	5
2.1.1	Considerações gerais	5
2.1.2	Argamassas de revestimento.....	5
2.1.3	Argamassas industriais.....	6
2.2	Constituintes das argamassas.....	7
2.2.1	Agregados.....	7
2.2.2	Ligante	7
2.2.3	Água	11
2.2.4	Adjuvantes	11
2.3	Argamassas com incorporação de resíduos.....	12
2.3.1	Viabilidade e sustentabilidade.....	12
2.3.2	Tipos de resíduos	14
2.4	Wood Pellets.....	16
2.4.1	Introdução	16
2.4.2	Caracterização.....	17
2.4.3	Processo de fabrico	17
2.4.4	Aplicações e vantagens do uso de Wood Pellets	21
3	Procedimentos da campanha experimental	23
3.1	Introdução.....	23
3.2	Planificação da campanha experimental	23
3.3	Caracterização dos materiais	24
3.3.1	Análise granulométrica	24
3.3.2	Baridade.....	27
3.3.3	Obtenção de pellets moídos	28

3.3.4	Ligante	32
3.3.5	Superplastificante	33
3.4	Produção das argamassas	33
3.4.1	Composição das argamassas	33
3.4.2	Elaboração de argamassas	35
3.4.3	Provetes.....	36
3.4.4	Condições de cura	37
3.5	Caracterização das argamassas no estado fresco	38
3.5.1	Consistência por espalhamento	38
3.5.2	Massa volúmica aparente em pasta	39
3.6	Caracterização das argamassas no estado endurecido	40
3.6.1	Condutibilidade térmica	40
3.6.2	Módulo de elasticidade dinâmico	41
3.6.3	Resistência à tração por flexão	42
3.6.4	Resistência à compressão	44
3.6.5	Massa volúmica aparente, massa volúmica real e porosidade aberta	45
3.6.6	Absorção de água por capilaridade	47
3.6.7	Secagem.....	48
3.6.8	Coesão superficial	50
3.6.9	Dureza superficial por durómetro Shore A	51
3.6.10	Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – tubos de Karsten	52
3.6.11	Aderência ao suporte	54
4	Apresentação e discussão de resultados	56
4.1	Caracterização das argamassas no estado fresco	56
4.1.1	Consistência por espalhamento	56
4.1.2	Massa volúmica aparente em pasta	57
4.2	Caracterização das Argamassas no estado endurecido	58
4.2.1	Condutibilidade térmica	58
4.2.2	Módulo de elasticidade dinâmico	59
4.2.3	Resistência à tração por flexão	59
4.2.4	Resistência à compressão	60

4.2.5	Massa volúmica aparente, massa volúmica real e porosidade aberta.....	61
4.2.6	Absorção de água por capilaridade	63
4.2.7	Secagem.....	65
4.2.8	Coesão superficial	67
4.2.9	Dureza superficial por durómetro Shore A.....	68
4.2.10	Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – tubos de Karsten.....	69
4.2.11	Aderência.....	70
4.3	Síntese global dos resultados obtidos	71
5	Conclusões e desenvolvimentos futuros	73
5.1	Conclusões gerais	73
5.1.1	Parâmetros mecânicos e porosidade.....	73
5.1.2	Comportamento térmico.....	75
5.1.3	Comportamento face à água.....	76
5.1.4	Evolução das características das argamassas	77
5.2	Considerações finais.....	79
5.3	Desenvolvimentos futuros.....	79
	Referências bibliográficas.....	81
	Anexo I	87
	Anexo II	91
	Anexo III	99

Índice de figuras

Figura 1.1 – Evolução da população mundial	1
Figura 2.1 – Processo de produção do cimento Portland.....	10
Figura 2.2 – Wood pellets	17
Figura 2.3 – Processo de produção de wood pellets	18
Figura 2.4 – Exemplo de um refinador de martelos	19
Figura 2.5 – Matriz perfurada utilizada no fabrico de pellets.....	20
Figura 2.6 – Esquema de sistema de arrefecimento de pellets.....	20
Figura 3.1 – Agitador mecânico	24
Figura 3.2 – Curvas granulométricas das areias APAH 12, APAH 20 e APAH 30.....	26
Figura 3.3 – Curva granulométrica da mistura de areias.....	27
Figura 3.4 – Mistura de areia final	27
Figura 3.5 – Cálculo da baridade: material utilizado (esq.) e cálculo do volume do recipiente (dir.)	28
Figura 3.6 – Análise granulométrica de pellets inteiros: retido no peneiro 1"/2, 3"/8 e nº4	29
Figura 3.7 – Curva granulométrica de pellets inteiros	29
Figura 3.8 – Obtenção de pellets moídos: material utilizado (esq.) e pellets no interior da caixa (dir.).....	30
Figura 3.9 – Curva granulométrica de pellets moídos	30
Figura 3.10 – Material retido nos vários peneiros da peneiração de pellets moídos	30
Figura 3.11 – Diferenciação de granulometria de pellets moídos: grossos, médios e finos	31
Figura 3.12 – Curva granulométrica: pellets grossos, médios e finos	32
Figura 3.13 – Argamassas de teste: traço volumétrico 1:3 (esq.) e 1:2 (dir.).....	34
Figura 3.14 – Misturador mecânico	35
Figura 3.15 – Molde de provetes prismáticos.....	36
Figura 3.16 – Tijolo com reboco: aplicação (esq.) e alisamento (dir.)	37
Figura 3.17 – Execução de bolachas: preenchimento e razamento do molde	37
Figura 3.18 – Condições de cura: temperatura e humidade relativa	38
Figura 3.19 – Provetes prismáticos em processo de cura.....	38
Figura 3.20 – Ensaio de espalhamento.....	39
Figura 3.21 – Ensaio de condutibilidade térmica.....	41
Figura 3.22 – Equipamento utilizado para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico	42
Figura 3.23 – Ensaio de resistência à tração por flexão.....	44
Figura 3.24 – Ensaio de resistência à compressão.....	45
Figura 3.25 – Ensaio de resistência à compressão dos provetes de referência	45
Figura 3.26 – Pesagem hidrostática (esq.) e pesagem saturada (dir.).....	46
Figura 3.27 – Absorção de água por capilaridade: mistura de cêra de abelha e pez de louro (esq.) e provetes impermeabilizados (dir.)	47

Figura 3.28 – Absorção de água por capilaridade: provetes em contacta com a lâmina de água	48
Figura 3.29 – Ensaio de secagem.....	50
Figura 3.30 – Coesão superficial: várias etapas do ensaio	51
Figura 3.31 – Dureza superficial: durómetro (esq.) e realização do ensaio (dir.)	51
Figura 3.32 – Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão: pormenor de colagem (esq.) e aspeto geral do ensaio (dir.)	53
Figura 3.33 – Efeito da fendilhação no ensaio de permeabilidade à água líquida	53
Figura 3.34 – Ensaio de aderência: recorte da argamassa (esq.) e colagem de pastilhas (dir.)	54
Figura 3.35 – Aderência ao suporte: pormenor de gancho e parafuso (esq.) e aspeto geral do ensaio (dir.)	54
Figura 4.1 – Resultados do ensaio de espalhamento	56
Figura 4.2 – Resultados do ensaio de massa volúmica aparente em pasta	57
Figura 4.3 – Comparação dos valores de condutibilidade térmica obtida por outros autores	58
Figura 4.4 – Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão	60
Figura 4.5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão	61
Figura 4.6 – Resultados da massa volúmica aparente seca e real e da porosidade aberta	62
Figura 4.7 – Curvas de absorção de água por capilaridade.....	63
Figura 4.8 – Curvas de absorção de água por capilaridade até à 7ª hora	64
Figura 4.9 – Resultado do coeficiente de absorção de água por capilaridade	64
Figura 4.10 – Curvas de secagem	66
Figura 4.11 – Resultados obtidos para a taxa de secagem	66
Figura 4.12 – Resultados obtidos para o índice de secagem.....	67
Figura 4.13 – Resultados do ensaio de coesão superficial	67
Figura 4.14 – Partículas arrancadas de argamassas Mix 5 no ensaio de coesão superficial	68
Figura 4.15 – Resultados do ensaio de dureza superficial.....	68
Figura 4.16 – Resultados do ensaio de permeabilidade à água líquida para os 10 e 60 minutos	69
Figura 4.17 – Tipos de rotura do ensaio de aderência: a) rotura pela cola; b) rotura adesiva; c) rotura coesiva	70
Figura 4.18 – Resultados da tensão de aderência ao suporte	71
Figura 5.1 – Comparação entre R_t e R_c com E_d	74
Figura 5.2 – Comparação entre R_c e MVA.....	75
Figura 5.3 – Comparação entre MVA e λ	76

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Síntese de estudos com argamassas com diferentes tipos de resíduos	14
Tabela 3.1 – Número e abertura de malha dos peneiros utilizados	25
Tabela 3.2 – Análise granulométrica da mistura de areia	26
Tabela 3.3 – Baridade da areia, pellets moídos e cimento.....	28
Tabela 3.4 – Análise granulométrica dos pellets moídos	30
Tabela 3.5 – Módulo de finura, máxima e mínima dimensão: pellets grossos, médios e finos ..	31
Tabela 3.6 – Caracterização granulométrica da mistura de pellets.....	32
Tabela 3.7 – Principais características do CEM II/B-L 32,5N.....	33
Tabela 3.8 – Características do ChrysoFluid	33
Tabela 3.9 – Argamassas: relação a/l e % de superplastificante	35
Tabela 4.1 – Valores de espalhamento	56
Tabela 4.2 – Valores da massa volúmica aparente em pasta	57
Tabela 4.3 – Valores de condutibilidade térmica.....	58
Tabela 4.4 – Valores do módulo de elasticidade dinâmico	59
Tabela 4.5 – Valores da resistência à tração por flexão.....	59
Tabela 4.6 – Valores da resistência à compressão.....	60
Tabela 4.7 – Valores da massa volúmica aparente e real e da porosidade aberta	62
Tabela 4.8 – Valores de coeficiente de absorção do ensaio com tubos de Karsten, para os 10 e 60 minutos	69
Tabela 4.9 – Valores da tensão de aderência ao suporte	70
Tabela 4.10 – Resumo dos resultados obtidos em ensaios de argamassas.....	71
Tabela 5.1 – Evolução dos resultados provocada pela incorporação de pellets	77

Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos

Argamassas

Mix 1 – Argamassa de cimento

Mix 2 – Argamassa de cimento com substituição de 10% de volume de areia por mistura de pellets.

Mix 3 – Argamassa de cimento com substituição de 20% de volume de areia por mistura de pellets.

Mix 4 – Argamassa de cimento com substituição de 30% de volume de areia por mistura de pellets.

Mix 5 – Argamassa de cimento com substituição de 40% de volume de areia por mistura de pellets.

Propriedades, parâmetros e siglas

λ – Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]

$\sigma_{\text{ader.}}$ – Tensão de aderência [MPa]

A – Área [m^2]

Ba – Baridade [Kg/m^3]

C_c – Coeficiente de absorção de água por capilaridade [$\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$]

C_{abs}^t – Coeficiente de absorção de água líquida sob baixa pressão [$\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$]

DGEG – Direção geral de energia e geologia

DP – Desvio Padrão

Ed – Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]

I_s – Índice de secagem

MVA – Massa volúmica aparente [Kg/m^3]

MVR – Massa volúmica real [Kg/m^3]

PA – Porosidade aberta [%]

R_t – Resistência à tração por flexão [MPa]

R_c – Resistência à compressão [MPa]

RCD – Resíduos de construção e demolição

T_s – Taxa de secagem [$\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

1 Introdução

1.1 Enquadramento geral

A espécie humana habita no planeta Terra há milhares de anos. Durante todos esses anos teve várias oscilações em termos de número total de indivíduos, mas de um modo geral esse número foi sempre aumentando, sendo que esse aumento nos últimos séculos registou valores cada vez mais elevados, Figura 1.1. O aumento da população, a industrialização, a concentração de população em grandes centros urbanos e o desenvolvimento tecnológico levou ao aumento do consumo de cada vez mais recursos naturais e da poluição produzida. Os recursos naturais podem ser classificados como renováveis ou não renováveis. Entende-se como recursos renováveis aqueles que se conseguem renovar rapidamente e assim satisfazer as necessidades de consumo atuais, sendo que, se essas necessidades aumentarem, um dado recurso pode deixar de ser renovável. Por seu turno, os recursos não renováveis são recursos que existem na natureza numa quantidade limitada tendo em conta a necessidades de consumo atuais e a sua capacidade de renovação/produção. Os combustíveis fósseis são um exemplo de um recurso não renovável, uma vez que são consumidos a uma velocidade superior àquela que a natureza os consegue produzir.

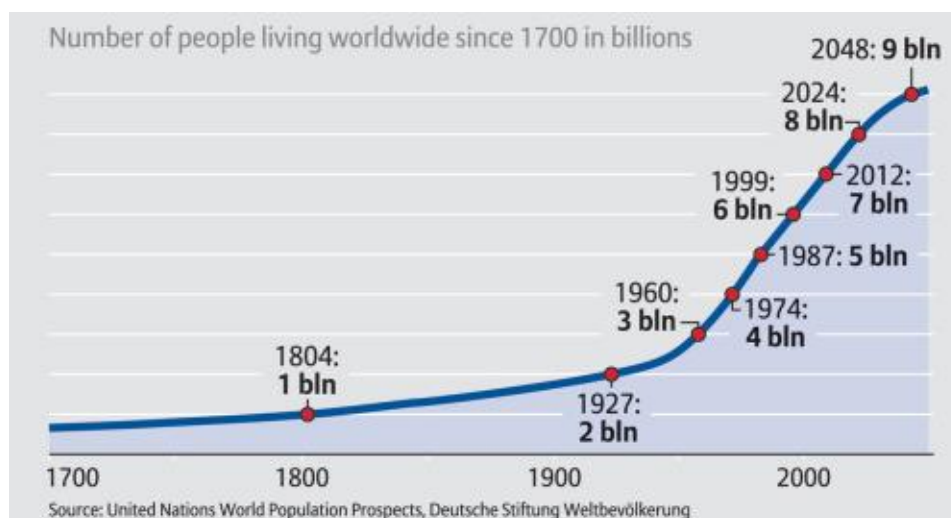


Figura 1.1 – Evolução da população mundial, adaptado de (Abbotsford Today, 2013)

A noção de que o planeta Terra e os seus recursos são limitados tem vindo a aumentar e está cada vez mais presente no nosso dia-a-dia. A consciencialização para este problema levou ao aumento da procura de alternativas aos recursos naturais com vista à sua preservação. Algumas das medidas tomadas foram reduzir o consumo tentando que esse consumo seja feito de uma forma sustentável, com base na reutilização e reciclagem de muitos materiais.

A construção civil é um setor com um elevado consumo de recursos naturais, o problema das questões ambientais e o elevado consumo de recursos naturais está presente de uma forma bastante

acentuada. Com a consciência de que é preciso reduzir o consumo de recursos naturais o desenvolvimento de novos produtos passa forçosamente pela utilização de subprodutos e resíduos provenientes de outros setores, ou do setor da construção.

No âmbito da problemática das questões ambientais e da necessidade de reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis pretendeu-se estudar uma forma de reduzir o consumo de agregados naturais através da substituição destes por resíduos provenientes de outras indústrias. Na presente dissertação a escolha recaiu em pellets de madeira de pinho. Os pellets são produzidos através de resíduos provenientes de indústrias de madeira. Pelo que utilizando um produto reutilizado para substituir um produto natural, a areia, torna-se uma alternativa viável do ponto de vista ambiental.

1.2 Objetivos e metodologia

A presente dissertação tem como objetivo contribuir para um maior conhecimento da comunidade científica e da indústria sobre argamassas de cimento com a incorporação de wood pellets e o efeito da utilização destes no desempenho de argamassas.

Definiu-se como premissa formular argamassas possíveis de ser utilizadas como argamassas de revestimento, com base nesse princípio elaborou-se um plano de trabalho. Esse plano consistiu em definir os ensaios a efectuar, assim como os materiais e equipamentos necessários para a sua realização. Em primeiro lugar caracterizou-se os pellets em termos da sua granulometria, de forma a aferir a melhor maneira de os utilizar como substitutos da areia. Posteriormente, no âmbito de uma campanha experimental preliminar, elaboraram-se argamassas com vários traços até se obter uma que desse a garantia de que seria possível realizar todos os ensaios planeados e assim obter a maior informação possível.

O traço em massa de 1:1,3 (ligante:agregado) foi adotado com vista o cumprimento dos objectivos definidos, designadamente no que se refere às alterações que a introdução de wood pellets provoca nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas à base de cimento. Para esse efeito realizou-se uma argamassa de referência e outras com diferentes percentagens volumétricas (10%, 20%, 30% e 40%) de pellets em substituição da areia.

1.3 Estrutura e organização do trabalho

A presente dissertação é composta por 5 capítulos. No capítulo 1, *Introdução*, é feito um enquadramento geral do tema, são descritos os objetivos da dissertação e é apresentada a estrutura da mesma.

No capítulo 2, *Análise do conhecimento*, é realizada uma síntese sobre argamassas, trabalhos realizados anteriormente com resíduos e também é feita uma descrição geral sobre wood pellets, como são obtidos e quais as suas utilidades.

No capítulo 3, *Procedimento da campanha experimental*, é descrita a toda a campanha experimental nomeadamente a caracterização de materiais, a produção de argamassas e caracterização destas no estado fresco e no estado endurecido.

No capítulo 4, *Apresentação e discussão de resultados*, são apresentados os resultados obtidos. É feita uma interpretação a esses resultados comparando-os com resultados e conclusões obtidos por outros autores já mencionados no capítulo 2.

Por último, no capítulo 5, *Conclusões e desenvolvimentos futuros*, é avaliada a viabilidade da utilização de wood pellets como substituto de agregados naturais. São também propostas ideias de desenvolvimento a serem aplicadas em trabalhos futuros.

Por fim é apresentada a bibliografia consultada e em anexo as fichas técnicas dos materiais utilizados e a disseminação de resultados da investigação efetuada.

2 Análise do conhecimento

2.1 Argamassas

2.1.1 Considerações gerais

As argamassas são utilizadas na construção civil há muitos séculos, 1100 e 500 A.C. (Ferreira, 2012), e podem ser descritas como um produto obtido através da mistura de um ou mais ligantes, agregados, água e, mais recentemente, aditivos e adjuvantes (Pinho, 2011). A seleção dos constituintes deve ser feita com base no tipo de edifício, a sua época de construção, o clima da região em que se situa e as condições ambientais a que argamassa estará sujeita (Frutuoso, 2014). Podem ter várias designações, em função do tipo de ligante utilizado, à base de cal, cimento e bastardas. As argamassas de cal são as mais antigas, utilizadas ao longo de séculos, o que demonstra a sua durabilidade (Pinho, 2011). As argamassas de cimento surgiram mais tarde e levaram à diminuição de uso de argamassas de cal, uma vez que as argamassas de cimento adquirem maiores, e de forma mais rápida, resistências mecânicas. Por fim, as argamassas bastardas são assim designadas por possuírem a mistura de dois ligantes diferentes. Recorre-se a este tipo de argamassas quando só um ligante não consegue satisfazer os requisitos para o fim em vista, pelo que se utilizam dois ligantes por forma a que a argamassa obtida possua características dos dois ligantes (Pinho, 2011).

Argamassas são dos produtos mais utilizadas na construção, quer em construção nova, quer em reabilitação ou conservação (Faria, 2010) e podem também ser classificadas de acordo com a sua utilização. Podem ser utilizadas em assentamento de alvenarias, como revestimento (interior e exterior), no tratamento de juntas (de alvenarias e entre ladrilhos), em camadas de regularização ou de forma em pavimentos e coberturas (Faria, 2010; Pinho, 2011).

Na presente dissertação o objetivo foi obter argamassas de revestimento, pelo que a investigação incidiu nesse sentido.

2.1.2 Argamassas de revestimento

Neste subcapítulo será feita uma descrição geral das argamassas de revestimento e descritas as suas principais funções.

As argamassas de revestimento desempenham um papel de extrema importância, quer em questões de proteção, quer em questões de estética (Neno, 2010). Têm como funções essenciais a regularização dos toscos, por forma a criar uma superfície lisa, o acabamento dos paramentos e a proteção das alvenarias de agressões externas deteriorantes. No caso de rebocos exteriores, uma das principais funções é contribuir para a estanquidade do conjunto tosco-revestimento (Veiga, 1998).

Nas argamassas de revestimento as resistências mecânicas não são um elemento fundamental, contudo, segundo (Faria, 2010; Pinho, 2011; Veiga, 1998), estas devem satisfazer determinados requisitos de qualidade que se relacionam com: trabalhabilidade, aderência ao suporte, permeabilidade ao

vapor de água, capacidade de impermeabilização em zona não fendilhada, resistência aos choques, compatibilidade com o suporte, resistência à fendilhação, aspeto estético e durabilidade.

As argamassas mais utilizadas em Portugal, e sobre as quais há mais experiência de utilização, são sem dúvida as argamassas tradicionais feitas em obra, com recurso a betoneira e aplicadas manualmente. Devido ao elevado número de requisitos pretendidos para uma argamassa, torna-se difícil dosear uma argamassa que seja, ao mesmo tempo, pouco suscetível à fendilhação, pouco permeável à água, bastante permeável ao vapor de água e com uma boa aderência ao suporte. Com vista a ultrapassar essa dificuldade, a aplicação destas argamassas é realizada através de três camadas (Veiga, 1998): (i) crespido, ou chapisco; (ii) camada de base ou de regularização e (iii) camada de acabamento. O crespido é feito com recurso a uma argamassa bastante fluida que possui uma elevada dosagem de ligante, é aplicada com o objetivo de, por um lado, homogeneizar a superfície de suporte e, por outro, de conferir uma rugosidade que permita uma melhor aderência à camada seguinte. A camada de base, ou de regularização, é a camada mais espessa com a função de regularização e de conferir uma maior impermeabilização não devendo ultrapassar, segundo (Veiga, 1998) os 20 mm, razão pela qual pode ser necessário aplicar mais do que uma camada. Em caso de existir mais que uma camada, a camada exterior deve possuir um menor teor de ligante do que a camada que a antecede, por forma a evitar o aparecimento de fendas em camadas interiores devido às tensões transmitidas durante a retração. Esta camada não deve ser demasiado lisa por forma a garantir uma melhor aderência à camada. A camada de acabamento é a que dá o aspeto final, em termos de textura, ao reboco e que protege as camadas subjacentes, pelo que é importante que não fendilhe. Esta camada é a mais pobre de todas as camadas em termos de teor de ligantes, por forma a evitar que as tensões devido à retração fendilhem as camadas interiores.

Para que cada uma das camadas desempenhe a função plenamente é necessário que se dê o tempo de espera suficiente entre a aplicação das três camadas, de modo a que se possa processar a secagem e que ocorra a maior parte da retração e assim evitar que as fendas que apareçam atravessem toda a camada de revestimento.

2.1.3 Argamassas industriais

O contínuo aumento da industrialização, associado à tentativa de aumentar o controlo de qualidade de todos os produtos utilizados no setor da construção civil, levou ao surgimento das argamassas industriais. Estas podem ser divididas em argamassas pré-misturadas ou pré-doseadas. Nas argamassas pré-misturadas, os seus componentes são doseados e misturados em fábrica, sendo, posteriormente em obra, adicionados outros componentes especificados, e fornecidos pelo fabricante. No caso das argamassas pré-doseadas, os componentes são todos doseados e misturados em fábrica, sendo apenas necessário, em obra, misturá-los com água, segundo instruções do fabricante (Nascimento, 2006). O facto de as argamassas pré-doseadas apenas necessitarem de adição de água em obra aumenta a garantia de qualidade, e de homogeneidade, destas por comparação com as pré-fabricadas.

A utilização de argamassa pré-doseadas apresenta inúmeras vantagens, quando comparadas com as argamassas tradicionais. O facto de possuírem uma maior garantia de qualidade, pelo facto de reduzirem as probabilidades de erros humanos no processo de mistura, apresenta uma clara vantagem.

Outra vantagem reside no facto da possibilidade de integração de novos materiais, como é o caso da presente investigação, e de vários tipos de adições, sejam introdutores de ar, agentes hidrófugos ou retardadores de presa, cuja adição em obra seria mais difícil de realizar, nomeadamente em termos de garantia de rigor. Em obra, apresentam a vantagem de permitir um melhor aproveitamento do espaço disponível, facilitando a limpeza e arrumação do estaleiro (Nascimento, 2006).

Apesar da crescente utilização de argamassas industriais, ainda é comum o recurso a argamassas tradicionais, muitas vezes devido aos custos e, principalmente, quando a quantidade necessária de argamassa é reduzida.

2.2 Constituintes das argamassas

Como foi referido anteriormente, as argamassas genericamente são uma mistura de um, ou mais, ligantes, agregados, água e, mais recentemente, aditivos e adjuvantes. Neste subcapítulo serão descritos cada um dos constituintes com principal foco naqueles que foram efetivamente utilizados nas argamassas da presente dissertação.

2.2.1 Agregados

Os agregados representam a componente maioritária de uma argamassa, podem ser de origem natural, ou artificial (Braga, 2010). Em argamassas normalmente a dosagem em ligante visa preencher o volume de vazios deixado pelos agregados. Dessa forma interessa utilizar agregado (ou mistura de agregados) com curva granulométrica extensa, de modo que, sucessivamente, existam partículas com dimensão tal que preencham os espaços deixados pelas partículas de maior dimensão (Faria, 2010). Incidindo principalmente em agregados naturais, estes podem ser classificados como grossos ou finos. Em argamassas apenas se utilizam os finos, com máxima dimensão inferior a 4.75mm, passando no peneiro com essa abertura (nº4 da série principal ASTM) (Faria, 2004). Como agregados finos destacam-se as areias que segundo Margalha (2010), do ponto de vista químico podem distinguir-se em dois grupos: areias siliciosas (quartzosas e graníticas) e areias calcárias. Apesar de em alguns países já se utilizar muitas areias provenientes de britagem, em Portugal, embora já existam algumas exceções, ainda é corrente o uso de areias naturais (roladas).

Fatores como a dureza, forma dos grãos, granulometria, a porosidade, bem como a origem dos agregados afetam o comportamento das argamassas. A areia funciona como o esqueleto da argamassa e confere coesão através da ligação dos seus grãos ao ligante (Botas, 2009; Frutuoso, 2014; Margalha, 2010).

2.2.2 Ligante

O ligante é um material em pó e é um dos componentes da argamassa que tem mais influência nas suas características. Este garante a coesão à mistura, garantindo a união entre todos os componentes da argamassa e conferindo-lhe resistências mecânicas.

Na presente dissertação o ligante utilizado foi o cimento Portland, pelo que foi sobre este que recaíram mais investigações e será feita adiante uma descrição mais pormenorizada. O cimento Portland é um tipo de ligante hidrófilo, sendo que os ligantes hidrófilos podem dividir-se em:

- Aéreos
- Hidráulicos

Ambos têm em comum o facto de possuírem calcário e argila na sua composição. Podem ser obtidos de forma natural ou artificial. São obtidos de forma natural quando provêm de pedras calcárias com um teor em argila considerado suficiente, não sendo necessário adicionar qualquer tipo de material ou produto para se obter o ligante final. Por seu turno, os ligantes artificiais resultam da mistura de vários materiais, tendo estes origens distintas (Pereira, 2008).

Os vários tipos de ligantes naturais diferenciam-se entre si pelo teor em argila associado à pedra. Para se obter uma cal aérea recorre-se a um calcário com teor em argila bastante baixo, na ordem de $\leq 5\%$. No caso de uma cal hidráulica recorre-se a calcários margosos, isto é, calcários com um teor de argila mais elevado, entre 5% e 20%. Para se obter um cimento natural recorre-se a margas calcárias, ou seja, pedras em que o teor em argila é ainda mais elevado, entre 20% e 40% (Coutinho, 1997).

No caso dos ligantes artificiais, o mais importante e mais utilizado é sem dúvida o cimento Portland. Este produto resultou a descoberta de que era possível obter um produto ligante através da mistura de vários constituintes existentes na natureza.

Ligantes aéreos

Dos ligantes aéreos, o mais utilizado é a cal aérea. Este ligante resulta de vários processos de transformação a que são sujeitos calcários com um teor em argila muito reduzido. Após os vários processos obtém-se o hidróxido de cálcio e pode ser aplicado em pó, ou em pasta. Os vários processos de transformação do calcário são os seguintes (Coutinho, 1997; Pinho, 2013):

- Cozedura do cálcio a 800/900°C, de que resulta o óxido de cálcio, ou cal viva, e dióxido de carbono;
- Extinção da cal viva através da adição de água (por imersão, ou aspersão), obtendo-se o hidróxido de cálcio (cal apagada, cal hidratada, ou cal)
- Endurecimento da cal, após aplicação em argamassa. Ao processo de endurecimento dá-se o nome de carbonatação, pois o endurecimento da argamassa de cal aérea dá-se por combinação com o dióxido de carbono.

Um aspeto importante a referir é que os ligantes aéreos não ganham presa em contacto com a água, esse processo dá-se apenas pela reação com o dióxido de carbono da atmosfera (Pinho, 2013). Sendo assim de referir que a água só contribuir para o processo de amassadura da argamassa, conferindo-lhe trabalhabilidade e promovendo a adesão do ligante ao agregado (Pereira, 2008).

Ligantes hidráulicos

Os ligantes hidráulicos distinguem-se dos ligantes aéreos pela sua constituição, pela forma como são obtidos, pelas condições em que ganham presa e pelas características que conferem às argamassas. Os ligantes hidráulicos mais utilizados e conhecidos são a cal hidráulica e o cimento.

A cal hidráulica é um ligante que resulta da cozedura de carbonato de cálcio, com um teor de argila entre os 5% e 20%, a uma temperatura de cerca de 1000°C. Esta é constituída por silicatos ($\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO}$) e aluminatos ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$), que com a presença de água sofrem um processo de hidratação e endurecem, e também por óxido de cálcio (CaO), em pelo menos 3%, que apenas vai endurecer por carbonatação, ou seja, em contacto com o ar (Pinho, 2013).

Cimento Portland

Segundo a Norma NP EN 197-1 (2007) (IPQ, 2007), o cimento é um ligante hidráulico que, quando em contacto com a água, forma uma pasta que desenvolve presa e endurece devido a reações e processos de hidratação, que após o endurecimento conserva a sua resistência mecânica mesmo debaixo de água.

O cimento Portland é constituído em grande parte (70 a 80%) por calcário, em geral as fábricas de cimento situam-se junto de uma zona de formação calcária. Tal como as cais, o cimento Portland é obtido através da sucessão e várias etapas de transformação das matérias primas, Figura 2.1, e pode ser obtido por via seca, ou via húmida. Em seguida serão descritas as etapas realizadas pela via seca na obtenção do cimento Portland (Pinho, 2013; Secil, 2006):

- Extração de blocos da pedreira, com dimensão máxima de 1,5 a 2 m. Esses blocos são transportados para um britador que os reduz a alguns centímetros. A matéria prima obtida é depois seca e moída até se obter um pó muito fino (cru ou farinha). Esse material fino é transportado para silos de homogeneização onde é realizada uma análise química de forma automática, através de raios-X, onde se calculam as correções necessárias a realizar e são automaticamente introduzidas em correções (adição de calcário, sílica, ferro ou alumina);
- O material é introduzido num forno rotativo, que utiliza vários sistemas de reaproveitamento de calor emitido pelos fumos provenientes da queima de material combustível. Durante este processo de cozedura dá-se a clinquerização, a uma temperatura situada entre 1400 a 1450°C, e obtém-se o clínquer;
- À saída do forno é necessário arrefecer o clínquer rapidamente até temperaturas próximas da temperatura ambiente, uma vez que o o silicato tricálcico (C_3S) é instável a temperaturas inferiores a 1250°C;
- Por fim, segue-se a moagem do clínquer, complementando com a adição de gesso, que vai regular o tempo de presa, e de alguns aditivos.

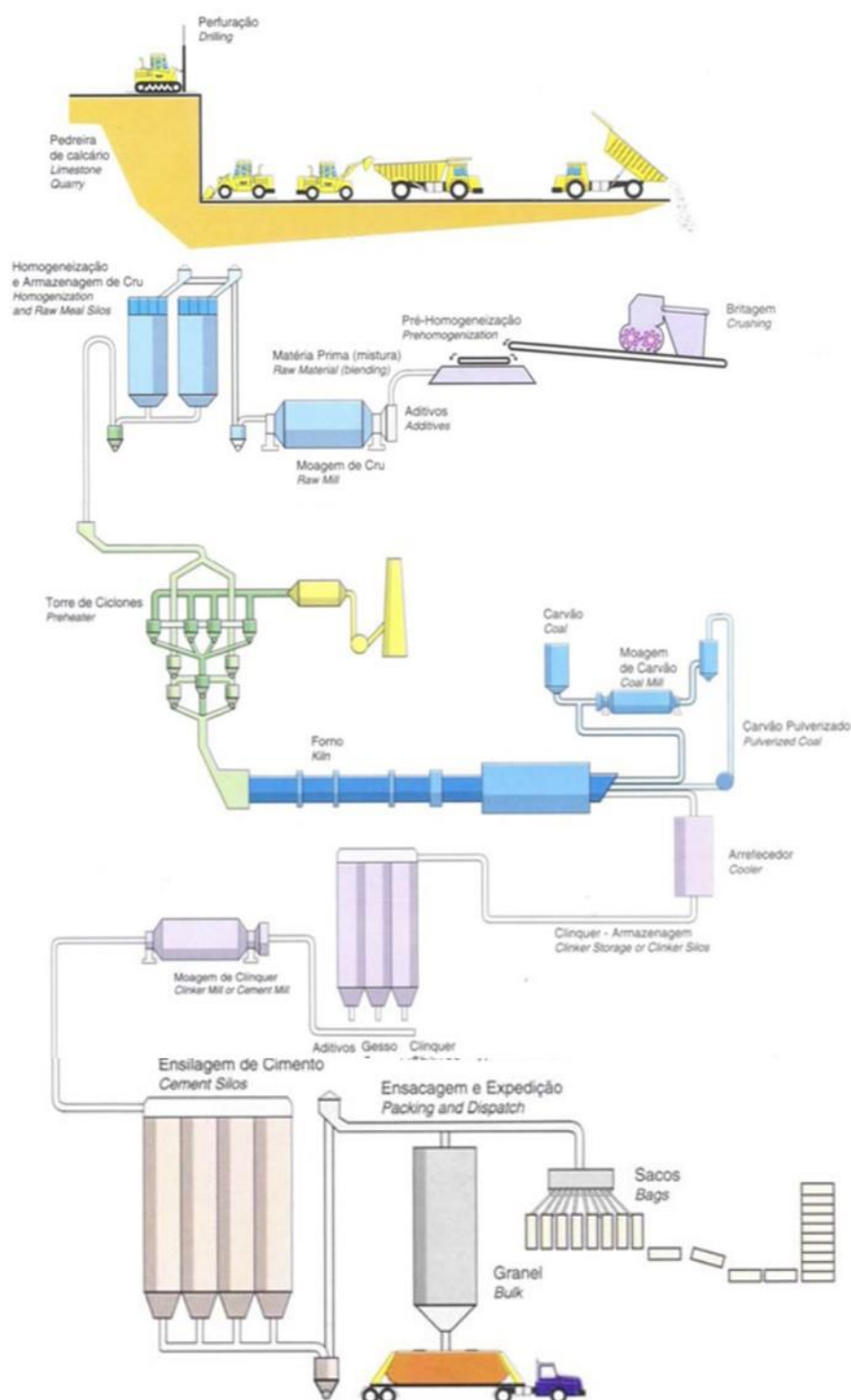


Figura 2.1 – Processo de produção do cimento Portland, adaptado de (CIMPOR, 2016)

O cimento Portland é um ligante hidráulico e, como tal, desenvolve presa na presença de água, através do processo de hidratação. Tal facto faz com que o endurecimento seja muito mais rápido do que a carbonatação, processo através do qual os ligantes aéreos endurecem. Esta é uma das vantagens do cimento Portland, e dos ligantes hidráulicos, em relação à cal aérea, e aos ligantes aéreos. Outra grande vantagem reside no facto de, apesar de necessitar mais água no processo de amassadura, a água utilizada é responsável pelo processo de hidratação, o que por comparação com a cal aérea vai resultar numa menor quantidade de água evaporada durante o endurecimento.

A água evaporada durante o endurecimento origina uma maior retração que por sua vez, devido às tensões registadas entre a argamassa e o suporte, irá originar o aparecimento de fendilhação e levará, conseqüentemente, a uma argamassa com menores resistências mecânicas.

Ao todo, a norma NP EN 197-1:2007 (IPQ, 2007) define 27 tipos de cimento e 6 classes de resistência. Em Portugal são fabricados os cimentos do tipo *CEM I*, *CEM II/A-L*, *CEM II/B-L* e *CEM IV*, que diferem entre si na dosagem de clínquer. O *CEM II/A-L* e o *CEM II/B-L* possuem calcário na sua composição e o *CEM IV* possui uma cinza volante siliciosa (Varela & Vieira, 2005).

Em termos de classes de resistência, os cimentos podem apresentar ser do tipo: 32,5 N; 32,5 R; 42,5 N; 42,5 R; 52,5 N e 52,5 R. Sendo que “32,5; 42,5 e 52,5” indicam a classe de resistência, isto é, correspondem às resistências mínimas, em *Newtons*, que um cimento tem que desenvolver ao fim de 28 dias de cura. “N e R” representam a classe de resistência aos primeiros dias, sendo que um cimento com a letra “R” desenvolve resistências mais rapidamente que um cimento com a letra “N”.

2.2.3 Água

A água é um elemento fundamental na constituição de uma argamassa, uma vez que é responsável pela sua trabalhabilidade no estado fresco e pelo processo de hidratação do cimento. A quantidade de água utilizada é definida em função da trabalhabilidade pretendida, contudo, para se obter uma boa trabalhabilidade é utilizada no processo de amassadura uma quantidade em excesso. A água em excesso irá evaporar durante o processo de obtenção de cura originando vazios no interior da argamassa. Um dos parâmetros afetados pela evaporação da água em excesso é a porosidade aberta, pois quanto maior for a quantidade de água utilizada, maior será a quantidade de água que evaporará, originando uma maior quantidade de vazios (Barra, 2011). Essa maior quantidade de vazios pode prejudicar o desempenho da argamassa em certos aspetos, uma vez que uma maior quantidade de vazios torna a argamassa mais permeável à água líquida e faz com que esta tenha menores resistências mecânicas.

A quantidade de água evaporada durante o processo de cura vai ter, também, influência no valor da retração da argamassa. Segundo (Bederina et al., 2007, 2009), em que foram estudadas argamassas com serradura e aparas de madeira com e sem tratamento, a introdução de resíduos de madeira sem tratamento origina um aumento excessivo da retração.

2.2.4 Adjuvantes

Os adjuvantes são produtos que são adicionados à argamassa, durante o processo de amassadura, em quantidades inferiores a 5% da massa de ligante (Coutinho, 1997). A utilização deste tipo de produtos não é fundamental na execução de uma argamassa, no entanto, têm sido cada vez mais utilizados sendo, por vezes, necessários para a obtenção de uma argamassa com um comportamento e características melhoradas.

O recurso a adjuvantes pode ser feito com vista a afetação das argamassas em três pontos distintos. Assim sendo, os adjuvantes podem alterar as características iniciais das argamassas na fase de execução, aplicação e período de serviço (Pereira, 2008).

Na presente dissertação recorreu-se ao uso de um superplastificante. A utilização deste tipo de adjuvante tem como finalidade obter a mesma trabalhabilidade para uma menor quantidade de água utilizada (Sonebi, Lachemi, & Hossain, 2013). Este aspeto torna-se bastante importante pois, conforme referido em 2.2.3, quanto maior a quantidade de água utilizada na amassadura, maior será a quantidade de água evaporada durante a cura com as consequências que daí advêm, já referidas em 2.2.3.

Na investigação desenvolvida por (Corinaldesi, Mazzoli, & Siddique, 2016), em que são estudadas argamassas com resíduos de madeira, a utilização de superplastificante originou argamassas com resistências à compressão três vezes maiores, quando comparadas com argamassas com a mesma percentagem de adição de resíduos e com a mesma trabalhabilidade obtida exclusivamente à custa da adição de água no processo de amassadura. Estes resultados mostram a importância da utilização de um superplastificante, principalmente em casos em que a utilização de um tipo de resíduos acarreta um aumento da quantidade de água necessária.

Os superplastificantes atuam com base em mecanismos de repulsão, prevenindo a floculação das partículas sólidas, quando estas entram em contacto com a água. Os superplastificantes podem ser de dois tipos: os policarboxilatos (PCE) e os condensados de naftaleno formaldeído (SNF) (Cardoso, 2015). Os PCE atuam, maioritariamente, através de repulsão electrostática, complementada com repulsão estérica, protegendo as partículas de ligante interpondo uma cadeia de polímeros, que mantém as partículas de ligante afastadas. Os SNF atuam através de uma repulsão electrostática, obtida pela ionização das partículas de ligante, fazendo com que estas obtenham uma carga semelhante (Baltazar, Henriques, Jorne, & Cidade, 2013).

2.3 Argamassas com incorporação de resíduos

2.3.1 Viabilidade e sustentabilidade

O exponencial crescimento da população e o desenvolvimento tecnológico têm levado ao aumento da necessidade de exploração de recursos naturais que, segundo (Verde, 2013), se a exploração de recursos naturais continuar ao ritmo atual, em 2030 serão necessários recursos equivalentes a dois planetas Terra. Estes dados têm levado à crescente preocupação com o meio ambiente e à criação da noção de sustentabilidade. Como tentativa de implementação de medidas que visam reduzir o impacto ambiental de determinadas atividades foi criada em 2005 uma “Estratégia nacional para o desenvolvimento sustentável”, (Mota, Pinto, Sá, Marques, & Ribeiro, 2005). Esta estratégia tem como objetivo criar uma política integrada visando todo o tipo de resíduos, tendo como objetivo, por um lado, reduzir a produção de resíduos, e por outro aumentar o reaproveitamento dos resíduos produzidos, reduzindo assim os riscos para a saúde pública, para o meio ambiente e reduzindo os custos com o armazenamento de resíduos, (Collins & Ciesielski, 1994).

A indústria da construção constitui um dos sectores com maior responsabilidade ambiental, sendo responsável por 30% das emissões de carbono maioritariamente associado ao consumo energético do parque edificado (INE & DGEG, 2011). A preocupação com o meio ambiente e a noção de sustentabilidade está presente na construção civil e uma das formas de garantir a sustentabilidade no sector da construção é através da incorporação de resíduos provenientes tanto da construção, como de outras

indústrias. A incorporação de resíduos reduz ao mesmo tempo a exploração de recursos naturais e as emissões de poluentes que seriam libertados na extração desses mesmos recursos, (Torres, Matias, & Faria, 2016).

A necessidade de aumentar a sustentabilidade da atividade na construção civil passa também, por um lado, por construir edifícios mais eficientes do ponto de vista energético, isto é, que apresentem essencialmente menores necessidades de aquecimento e arrefecimento, (Brás, Leal, & Faria, 2012). Por outro lado, devido aos elevados volumes de argamassas necessários (que nomeadamente em Portugal se deveriam consumir para reabilitar fachadas que possuem rebocos ineficientes), a aspetos económicos e ambientais envolvidos, é importante que se opte cada vez mais pela utilização de argamassas mais amigas do ambiente. A sustentabilidade de uma argamassa passa também pelo seu uso adequado, em termos de aplicação correta e de compatibilidade com o suporte, que levará ao aumento da sua durabilidade e proteção mais eficaz do suporte, aumentando a vida útil deste (Faria, 2010), fazendo assim com que os impactos ambientais provocados pela produção e aplicação das argamassas sejam diluídos num tempo de vida útil maior. Sustentabilidade de uma argamassa encontra-se diretamente relacionada com a sua durabilidade, uma vez que uma argamassa mais durável conduzirá a menos ações de reabilitação que, consequentemente, leva a menor consumo de matérias primas, energia e produção de resíduos, (S. Cunha, Aguiar, Ferreira, & Tadeu, 2014).

A incorporação de resíduos em argamassas, independentemente da sua origem e do material que substituem, provoca alterações das características originais, pelo que é necessário procurar compreender melhor essas alterações. Entre todas as alterações provocadas ao desempenho de argamassas existe uma que é praticamente unânime em qualquer tipo de incorporação de resíduos, que se traduz pela redução da condutibilidade térmica. Dado que, como referido anteriormente, uma das principais preocupações passa por reduzir as necessidades energéticas, e assim reduzir indiretamente o consumo de matérias primas poluentes, conseguir obter argamassas com um comportamento térmico melhorado é um bom ponto de partida e encorajador para o desenvolvimento de estudos no sentido de introduzir um determinado resíduo em argamassas.

A produção de resíduos tem origem em vários tipos de indústrias, ou ramo de atividade profissional. O facto de cada atividade produzir, de uma maneira geral, resíduos com determinadas características faz com que nas áreas circundantes seja possível obter uma maior quantidade desse tipo de resíduo. Este aspeto é importante na medida em que não basta produzir uma argamassa com um determinado resíduo para que essa argamassa seja sustentável e viável do ponto de vista económico e ambiental. Como é referido em (Faria, 2010; Fioriti, Marques, Akasaki, & Sousa, 2010), é importante cada país conhecer que tipo de resíduos são produzidos localmente, avaliar se a quantidade existente é suficientemente elevada de modo a que se justifique o desenvolvimento de estudos com vista à incorporação desses resíduos. A necessidade de transportar resíduos, caso estes não existam em quantidades suficientes, pode levar a que os custos e poluição associada ao transporte destes torne a argamassa inviável, tanto do ponto de vista económico como ambiental.

2.3.2 Tipos de resíduos

Dada a necessidade de aumentar a sustentabilidade no sector na construção torna-se imperativo reduzir o consumo de recursos naturais, preservando-os e anulando as emissões de poluentes associadas à exploração destes, e resolver o problema dos resíduos produzidos. A forma encontrada tem sido associar as duas, utilizar resíduos produzidos em substituição de produtos provenientes de recursos naturais, principalmente agregados e ligantes.

Como tal, nos últimos anos têm sido realizados bastantes estudos e parcerias no sentido de estudar a incorporação de resíduos, com diversas origens, em argamassas de cal aérea, cal hidráulica e cimento. Por exemplo, desde 2008 têm sido desenvolvidos estudos no âmbito de uma colaboração entre a Universidade de Coimbra, a Universidade Nova de Lisboa e o ITECons (Torres et al., 2016). Alguns dos estudos desenvolvidos nesta parceria foram utilizados como método de comparação com os resultados obtidos na presente dissertação.

O tipo e origem de resíduos utilizados podem ser bastante variados e com funções bastante diferentes. Estes podem ter como função substituir, de forma parcial ou total, os agregados (tal como se pretende na presente dissertação), podem ser utilizados em substituição parcial de ligante, ou como aditivos, funcionando como material pozolânico por exemplo.

Os estudos desenvolvidos com incorporação de resíduos têm sido desenvolvidos com dois fins principais, por um lado estudar a viabilidade da utilização de um determinado resíduo do ponto de vista de o produto obtido cumprir todos os requisitos mínimos para ser utilizado, e por outro lado, avaliar as melhorias de desempenho energético que são possíveis obter. Neste ultimo ponto as referências em termos de comparação poderão recair sobre argamassas realizadas especificamente para esse fim e que não utilizam produtos provenientes de resíduos.

Na tabela 2.1 são apresentados alguns tipos de resíduos utilizados em estudos que avaliaram a sua incorporação em argamassas e também materiais não-resíduos utilizados na obtenção de argamassas com desempenho energético melhorado.

Tabela 2.1 – Síntese de estudos com argamassas com diferentes tipos de resíduos

Resíduo utilizado	Autor	Ligante	traço	Integração do resíduo	Aditivos/ adjuvantes
Resíduos de demolição (RCD)	Braga (2010)	Cimento	1:4 (volume)	Substituição de 5/10/15% de areia por finos de betão	-
	Neno (2010)	Cimento	1:4 (volume)	Substituição de 20/50/100% de areia por finos de betão	-
	Barra (2011)	Cimento	1:4 (volume)	Substituição integral de areia por agregado reciclado, ou normalizado	-
	Machado (2014)	Cimento	1:3 (volume)	Substituição integral de areia por agregado reciclado	1% retardador de presa
Madeira	Bederina et al. (2007)	Cimento	1:3 (volume)	Substituição de 6,87/13,74/20,61/27,47/34,34% de areia por resíduos de madeira	1,5% SP

Tabela 2.1 – Síntese de estudos com argamassas com diferentes tipos de resíduos (continuação)

Resíduo utilizado	Autor	Ligante	traço	Integração do resíduo	Aditivos/ adjuvantes
Madeira	Corinaldesi et al. (2016)	Cimento	1:2/1:3 (volume)	Substituição de 2,5/5/10% de areia por aparas, ou serragem de madeira	-
Cortiça	Martins (2010)	Cal hidráulica e cimento	0,5;0,5:3 (volume)	Substituição de 40/60/80/100% areia por cortiça de várias granulometrias	-
	Frade et al. (2012)	-	-	Argamassas com incorporação de cortiça	-
	Brás, Leal, & Faria (2013)	Cimento	1:3 (massa)	Substituição de 10/20/40/50/70/80% e areia por cortiça	0,3% a 2% SP
	Melo (2014)	Cimento	1:3 (volume)	Substituição de 80% de areia por cortiça em argamassas tradicionais e industriais	-
Cerâmica	Matias (2014)	Cal hidráulica	1:3/1:4 (volume)	Substituição de 20/30/40% de areia por resíduos cerâmicos (tijolo, telha e vaso)	-
Pneus	Pedro (2011)	Cimento	1:4 (volume)	Substituição de 5/10/15% de areia por pneus triturados	-
	Fioriti & Marques (2012)	Cimento	1:3 (massa)	Substituição de 18,8% de areia por borracha de pneus	-
	Piteira (2015)	Cal hidráulica	1:3 (volume)	Substituição de 2,5/5/7,5% de areia por borracha de pneus	-
Materiais de mudança de fase (PCM)	S. Cunha et al. (2014)	Cimento	-	Substituição de areia por 40% de PCM	1% fibras
Plástico (PEAD)	Mello (2011)	Cimento	1:6 (massa)	Substituição de 10/17/25% de areia por PEAD	0,24% SP

Nos estudos referidos na Tabela 2.1 foram avaliadas várias propriedades, quer no estado fresco, ou no estado endurecido. No capítulo 4 serão comparados os resultados, obtidos na presente dissertação, com os resultados obtidos nos estudos acima referidos. Serão escolhidos apenas os resultados que se considerem mais apropriados de serem comparados.

2.4 Wood Pellets

2.4.1 Introdução

Com o fim, cada vez mais próximo, dos recursos fósseis naturais utilizados atualmente como combustíveis (petróleo, gás e carvão), associado às alterações ambientais, numa escala cada vez mais elevada, resulta na necessidade urgente de encontrar alternativas. Sendo imperativo, dado o contexto atual em termos de poluição, que essas alternativas sejam o mais sustentáveis possível. A biomassa responde às necessidades anteriormente mencionadas.

A biomassa caracteriza-se como sendo a matéria orgânica não fossilizada e biodegradável proveniente de plantas, animais e micro-organismos (Cunha, 2013). Incluem-se os produtos e resíduos provenientes da agricultura, silvicultura e indústrias ligadas, bem como as frações não fossilizadas e biodegradáveis dos resíduos industriais e urbanos (Monteiro, Mantha, & Rouboa, 2012). É considerada a mais promissora fonte de energia renovável, sendo a única que pode ser transportada e armazenada, e é a quarta fonte de energia mais utilizada (Ericsson, 2007; Huang, Jiao, Chen, & Zhao, 2011; Kalembkiewicz & Chmielarz, 2012).

Dado o facto de a biomassa ser uma fonte de energia renovável, a União Europeia criou regulamentos no sentido de aumentar a quantidade de biomassa utilizada no processo de combustão de carvão, passando de 7,5% em 2010, para 14% em 2020 (Blok, 2006; Kalembkiewicz & Chmielarz, 2012).

Contudo, a biomassa apresenta um elevado número de propriedades que a tornam mais difícil de trabalhar, comparativamente aos combustíveis fósseis (A. I. Cunha, 2013). De forma a combater essas dificuldades, e tornar a biomassa um recurso mais fácil de utilizar, surgiu a peletização que é uma forma eficiente de se obter mais energia e reduzir custos de armazenamento, manuseamento e transporte de biomassa. Segundo o dicionário Priberam da língua portuguesa, peletização/peletizar significam “Compactar e transformar em péletes ou granulados” (Priberam, 2017). Foi com base nesse conceito que surgiram os wood pellets.

Os wood pellets surgiram no final da década de 70 na América do Norte, com vista a solucionar a crise do petróleo (Garcia, 2010). Na década de 80 foram desenvolvidos estudos de peletização na Finlândia, mas os projetos ficaram num impasse devido à queda do preço do petróleo e consequente perda de competitividade económica dos pellets (Saracoglu & Gunduz, 2009). Contudo, o posterior aumento do preço dos combustíveis fósseis aumentou a necessidade de encontrar uma fonte de energia alternativa, e durante a década de 90 o consumo de wood pellets aumentou bastante em países como a Suécia, Dinamarca, Finlândia, Áustria e América de Norte (Garcia, 2010; Saracoglu & Gunduz, 2009).

O recurso a wood pellets representa uma oportunidade de, não só, criar e desenvolver novas indústrias, como também para desenvolver uma fonte de energia sustentável e diminuir a dependência de recursos não renováveis, nomeadamente combustíveis fósseis (Magelli, Boucher, Bi, Melin, & Bonoli, 2009).

2.4.2 Caracterização

Os wood pellets são um combustível sólido que pode ser fabricado com recurso a vários tipos de biomassa. Esses tipos de biomassa podem ser resíduos de florestas, serradura proveniente de indústrias de transformação de madeira, ou a partir de madeira virgem. A sua produção possibilita que sejam utilizados recursos de diferentes origens e de diferentes tipos de madeira (A. I. Cunha, 2013; Ecoforest, 2016). Possuem uma forma cilíndrica, pequenas dimensões (6-8 mm de diâmetro e 10-30 mm de comprimento, Figura 2.2) e um baixo teor de humidade (<10%) (A. I. Cunha, 2013; Pellets, 2011).



Figura 2.2 – Wood pellets

Devido ao reduzido teor de humidade e à sua elevada massa volúmica aparente são menos higroscópicos e muito mais resistentes ao apodrecimento e fermentação comparativamente aos resíduos originários. Este facto permite que sejam transportados e armazenados com muito maior facilidade, permitindo assim alargar o raio de distribuição e aumentando a sua competitividade económica (Ciolkosz, 2009).

2.4.3 Processo de fabrico

Originalmente desenvolvido para a produção de rações, o processo de peletização foi adaptado para aplicação em madeira, sendo composto pelas seguintes etapas: filtragem e moagem, secagem, compactação, arrefecimento e embalagem, idêntico ao da Figura 2.3 (Garcia, 2010; Nunes, 2015; Sá, 2009).

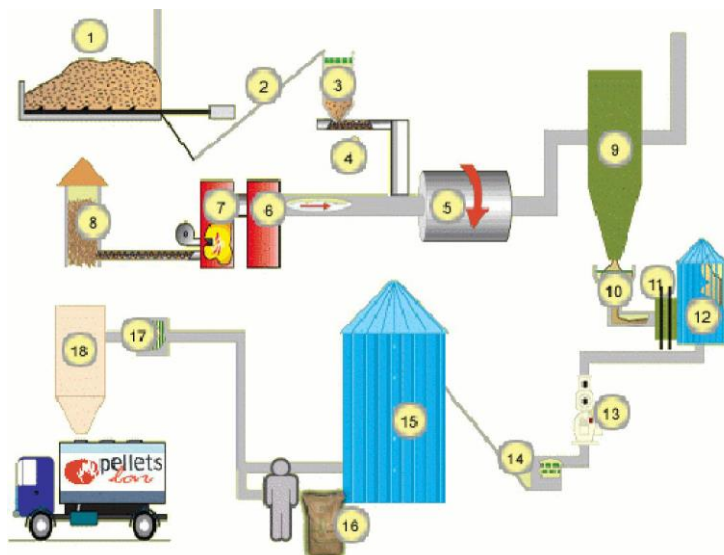


Figura 2.3 – Processo de produção de wood pellets, adaptado de (Sá, 2009)

Em que, (Sá, 2009):

- 1) Depósito de receção de serradura;
- 2) Senfim de transporte de resíduos;
- 3) Filtro de resíduos primário;
- 4) Válvula estrela de regulação;
- 5) Secador rotativo a biomassa;
- 6) Recuperação de cinzas;
- 7) Queimador;
- 8) Silo de alimentação do queimador;
- 9) Separador ciclónico de vapor/serradura;
- 10) Filtro de resíduos secundários;
- 11) Refinador com crivo;
- 12) Mini-silo de serradura;
- 13) Compactador de pellets;
- 14) Sistema de refrigeração;
- 15) Silo de produto acabado (pellets);
- 16) Ensacadora de pellets com balança;
- 17) Vibrador e limpeza de partículas;
- 18) Silo de carga de produto acabado (pellets).

Devido ao facto de parte da matéria prima ser proveniente de florestas há a necessidade de realizar um fracionamento, de preferência no local de recolha, de modo a rentabilizar e tornar mais viável o transporte da matéria prima até ao local de produção do pellets. Em seguida, na fábrica de

produção de pellets, devido ao facto de os resíduos provenientes de florestas ou serrações conterem impurezas, é realizada uma filtragem onde são removidas as impurezas (pedras e metais, por exemplo). Posteriormente recorre-se a um refinador, Figura 2.4, geralmente de martelos, onde será realizada a moagem da matéria prima de modo a garantir uma granulometria uniforme e assim garantir uma boa qualidade do produto final.

A maioria dos resíduos utilizados é serradura e farpas provenientes de serrações e florestas e contêm um teor de humidade demasiado elevado, pelo que é necessário proceder à sua secagem. A secagem é realizada de modo a obter-se um teor de humidade inferior a 10%, pois numa matéria prima com teor de humidade superior a 15% tona-se bastante difícil peletizar corretamente.

Após a secagem, o material é transportado para o silo de alimentação de do refinador de martelos, onde é realizada nova moagem e depois armazenado em silos em ambiente controlado, por forma a manterem o teor de humidade ideal e assim facilitar o seu manuseamento.

Segue-se a compactação, onde as partículas são extrudadas através de uma matriz perfurada. No lado oposto existe uma navalha que vai cortando os pellets, de forma a que estes possuam o comprimento pretendido, Figura 2.5. Ao compactar, as substâncias resinosas da madeira auxiliam a aglutinação das partículas de pequenas dimensões, o que possibilita a obtenção de aglomerados coerentes, fáceis de transportar e embalar.



Figura 2.4 – Exemplo de um refinador de martelos (First, 2013b)

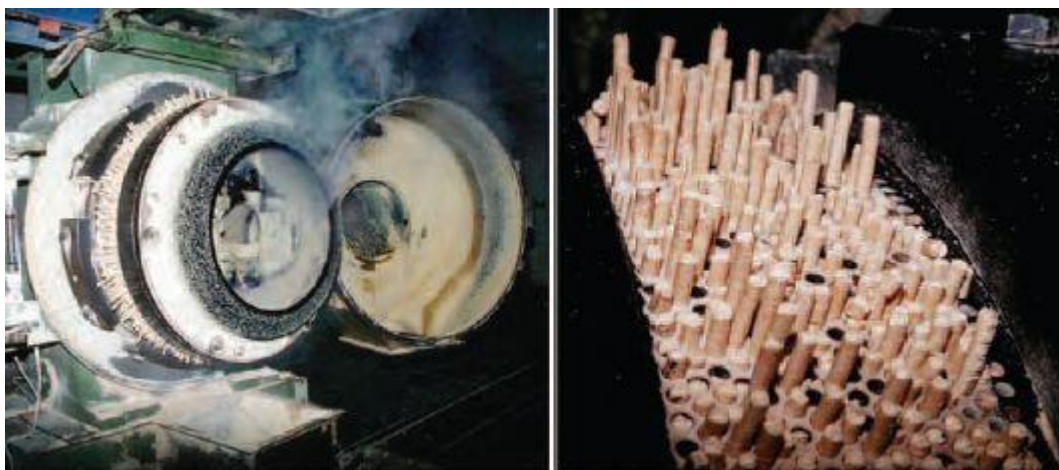


Figura 2.5 – Matriz perfurada utilizada no fabrico de pellets (Garcia, 2013)

Após a extrusão é necessário permitir o arrefecimento dos pellets, que se encontram a temperaturas elevadas (90/100°C) devido à Ação mecânica produzida pelo sistema de compactação. O arrefecimento dá-se ao ar livre, ou através de um sistema de refrigeração, até que os pellets atinjam a temperatura ambiente, Figura 2.6. O arrefecimento fortalece a ligação das partículas e endurece os pellets, contribuindo para que se mantenha a qualidade do produto final durante o armazenamento e transporte.

Em seguida os pellets passam por um vibrador, que possui um sistema de filtros, por forma a filtrar e remover finos residuais que são encaminhados para o início do processo de produção. Os pellets livres de finos são encaminhados para o processo de armazenamento ou para embalagem automática.

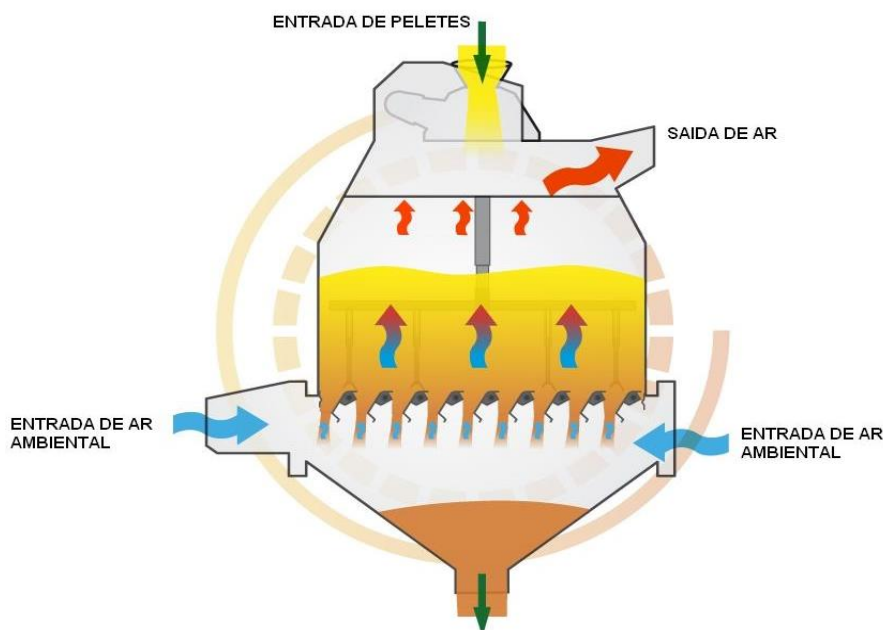


Figura 2.6 – Esquema de sistema de arrefecimento de pellets (First, 2013a)

2.4.4 Aplicações e vantagens do uso de Wood Pellets

Os wood pellets são uma fonte de energia sustentável, pois a madeira é renovável, a combustão de pellets tem uma baixa emissão de gases de estufa e, além disso, a maioria dos pellets produzidos provêm de resíduos de madeira. A sua utilização destina-se principalmente como fonte de energia elétrica, ou combustível, e como fonte de calor, através da queima em salamandras, por exemplo.

O uso de wood pellets como combustível é comum em diversas áreas, tais como: fornos de padarias, fornos cerâmicos, aquecimento de estufas, oficinas de pintura de carros, estufas de flores, aquecimento de edifícios de habitação uni e plurifamiliares. É também possível utilizar como combustível para sistemas de aquecimento central e das águas sanitárias de casas e empresas (Salústio, 2009).

Como fonte de energia para produção de energia elétrica, é possível ser utilizado em centrais elétricas adaptadas para o efeito. O processo consiste em aquecer água até entrar em ebulição e utilizar a energia transportada pelo vapor de água para acionar uma turbina a vapor. Essa turbina encontra-se acoplada a um gerador de energia elétrica, a que se dá o nome de alternador (Salústio, 2009).

Uma das vantagens dos wood pellets reside no seu tamanho normalizado, que permite os produtores de caldeiras produzirem sistemas automáticos de alimentação. Possuem também uma elevada densidade energética, que permite a sistemas de aquecimento, recorrendo a pellets, possuam autonomias equivalentes a sistemas com óleo de fontes de energias fósseis (Salústio, 2009).

Quando comparados com estilha de madeira apresentam bastantes vantagens. Estilha de madeira é um tipo de biomassa florestal constituída por pequenos pedaços de madeira com comprimento variável entre 5 e 50mm. A estilha é obtida através da fragmentação, na direção da fibra, de frações de madeira florestal, contendo partículas mais longas e uma quantidade considerável de finos. A estilha pode servir diretamente como combustível, ou ser utilizada como matéria prima para a obtenção de pellets. Segundo a pesquisa realizada por Salústio (2009), para a mesma quantidade de m³, os wood pellets contêm quatro vezes mais energia do que a estilha seca, produzem metade das cinzas e ocupam um terço do espaço (maior massa volúmica aparente), o que é vantajoso em termos de armazenamento e transporte.

Salústio (2009) comparou também wood pellets com um combustível de baixo custo e bastante utilizado, o Fuelóleo. Os resultados mostram que os pellets possuem um valor comercial inferior ao do fuelóleo, traduzindo-se numa vantagem económica, para além de apresentarem uma menor oscilação em termos de preço. Os pellets possuem uma menor percentagem de carbono, que consequentemente leva a menores emissões de CO₂ no momento da queima.

3 Procedimentos da campanha experimental

3.1 Introdução

No presente capítulo é descrita toda a campanha experimental realizada nesta investigação. Toda a campanha experimental decorreu em laboratórios do Departamento de Engenharia Civil da FCT/UNL.

A campanha dividiu-se em 3 fases. Uma primeira fase em que foi realizada a caracterização de todos os materiais, análise granulométrica, baridade e obtenção dos pellets moídos. A segunda fase diz respeito à elaboração das argamassas, onde foi efetuada campanha preliminar para aferir o melhor traço e, após isso, definidas as percentagens de areia substituídas por pellets e as dosagens de cimento, superplastificante e a relação água/ligante, a/l. Por fim, a terceira fase descreve todos os ensaios realizados para a caracterização das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

3.2 Planificação da campanha experimental

Estabelecidos os objetivos a atingir procedeu-se à planificação da campanha experimental.

A planificação foi realizada com base nos ensaios considerados mais relevantes na caracterização de argamassas no estado endurecidas. Para tal foram necessários provetes prismáticos, bolachas de argamassa e tijolos para aplicar as argamassas como reboco. Os provetes prismáticos foram divididos em 2 grupos: um grupo para os ensaios destrutivos e outro para os ensaios não destrutivos.

Os provetes destinados aos ensaios destrutivos foram utilizados para a determinação da resistência à tração por flexão, que divide cada provete em duas partes sensivelmente iguais. Cada uma dessas metades foi utilizada para a determinação da resistência à compressão, de onde resultaram três partes do provete ensaiado. Optou-se por utilizar, no ensaio de resistência à compressão, todas as metades resultantes do ensaio de resistência à flexão de modo a aumentar o número de ensaios realizados e assim, melhorar a fiabilidade dos resultados obtidos. Todas as partes resultantes do ensaio de resistência à compressão, que não se encontravam fragmentadas, foram utilizadas no ensaio de determinação de massa volúmica e porosidade aberta.

Por sua vez, os provetes destinados aos ensaios não destrutivos foram utilizados primeiro no ensaio para a determinação de absorção de água por capilaridade. Após esse ensaio foram utilizados no ensaio de secagem.

As bolachas de argamassa foram utilizadas exclusivamente para a determinação da condutibilidade térmica.

Quanto aos tijolos com argamassa de reboco foram produzidos dois exemplares para cada tipo de argamassa. Num deles foram efetuados três ensaios. Primeiro o ensaio de dureza superficial, seguindo-se o ensaio de coesão superficial. Por fim, determinou-se a permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – tubos de Karsten. O tijolo restante foi utilizado para determinação da aderência ao suporte.

Uma vez definidos todos os ensaios a realizar, bem como as quantidades de argamassa necessárias, procedeu-se à determinação das quantidades de materiais necessários.

Paralelamente, definiu-se o agregado natural a utilizar. Após isso, foi necessário obter também uma mistura de pellets que apresentasse uma granulometria equivalente à mistura que iria substituir.

Todas decisões acerca dos materiais escolhidos e descrições dos procedimentos efetuados encontram-se descritos nos capítulos e subcapítulos seguintes.

3.3 Caracterização dos materiais

3.3.1 Análise granulométrica

Todos os ensaios granulométricos foram realizados com base na norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000). A análise granulométrica permite conhecer a constituição de um material distribuído pelas várias dimensões das malhas utilizadas.

A realização deste ensaio consiste na colocação do um peneiro sem malha, refugo, no fundo e acima deste coloca-se o peneiro com a menor abertura de malha e assim sucessivamente até se chegar ao peneiro com a maior abertura de malha. Na última malha, a de maior abertura, coloca-se o material a peneirar e coloca-se uma tampa. Não se deve colocar demasiado material no peneiro, de modo a que todo o material passe pelo fundo da malha aquando da agitação e não se forme um efeito de parede que impeça partículas, que eventualmente fiquem presas, de passar na malha do peneiro. Em todas as peneirações para análise granulométrica foram utilizados peneiros da série principal ASTM intercalados com peneiros da série complementar para uma análise mais detalhada da distribuição granulométrica, Tabela 3.1.

Após a colocação da tampa, colocam-se todos os peneiros num agitador, Figura 3.1, prendem-se os moldes e liga-se o agitador durante 10 minutos, no caso desta dissertação.



Figura 3.1 – Agitador mecânico

Tabela 3.1 – Número e abertura de malha dos peneiros utilizados

Número de Peneiro	Abertura de malha [mm]
1" 1/2	38,1*
1"	25,4
3/4"	19,1*
1/2"	12,7
3/8"	9,51*
nº 4	4,75*
nº 8	2,36*
nº 16	1,18*
nº 30	0,6*
nº 40	0,425
nº 45	0,355
nº 50	0,3*
nº 60	0,25
nº 70	0,212
nº 80	0,18
nº 100	0,15*
nº 140	0,106
nº 200	0,075*
nº 400	0,038
Refugo	

(*) Peneiros da série principal

Após a peneiração desmontam-se todos os peneiros, determina-se a massa de material retido em cada peneiro e regista-se o valor, calcula-se a percentagem que essa massa representa em relação à massa total de material peneirado. Em seguida calcula-se a percentagem de passado acumulado ao longo dos vários peneiros começando no peneiro com maior abertura de malha.

Com os dados obtidos é possível traçar a curva granulométrica, que relaciona a percentagem de passado acumulado com a abertura de malha, a máxima dimensão de agregado, D [mm], que corresponde à menor abertura de malha da série principal ASTM em que passa pelo menos 90% da quantidade de agregado, a mínima dimensão de agregado, d [mm], que corresponde à maior abertura de malha da série principal ASTM em que passa uma quantidade igual ou menor a 5% e o módulo de finura, MF, que corresponde ao somatório das percentagens de material retido nos peneiros da série principal (exceto o peneiro Nº 200) dividido por 100.

Agregados

Na presente dissertação foram utilizados três tipos de areias: APAH 12, APAH 20 e APAH30, da empresa AREIPOR – AREIAS PORTUGUESAS, LDA., que estão de acordo com a NP EN 13139:2005 e NP EN 13139:20057AC:2010 (agregado para argamassas) e cujas fichas técnicas se encontram no Anexo II. Estas areias, de sílica e calcários, são devidamente lavadas e isentas de matérias estranhas e rigorosamente calibradas («AREIPOR Areias Portuguesas», 2017). Do ponto de vista petrográfico,

segundo as suas declarações de desempenho (Areipor, 2014a, 2014b, 2014c), elas são “areias quartzosas com dureza elevada, um elemento rolado de forma alongada, textura granoblástica, poligonal e heterogranular constituída por quartzo, zircão e turmalina”.

Por forma a obter mais dados em relação a cada uma delas procedeu-se à análise granulométrica de cada uma delas e, posteriormente, foi realizada a curva granulométrica respeitante a cada tipo de areia, Figura 3.2.

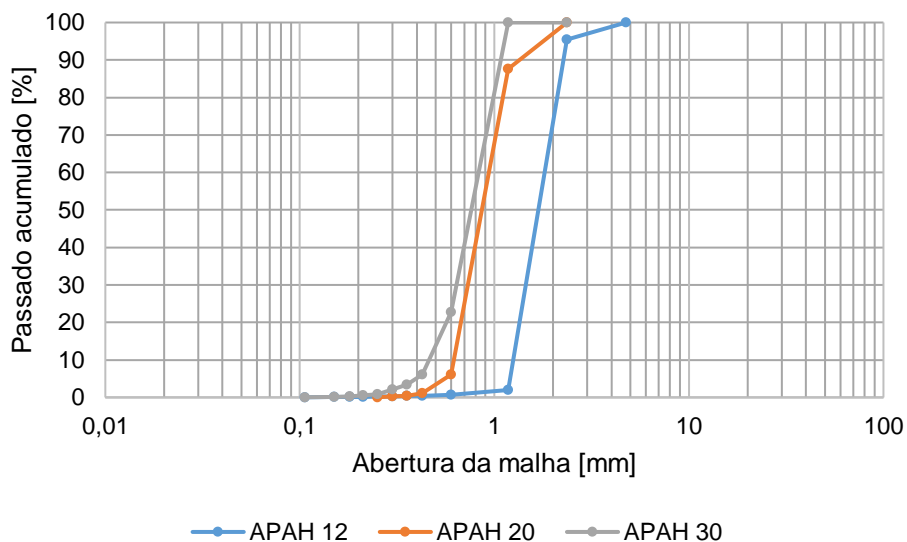


Figura 3.2 – Curvas granulométricas das areias APAH 12, APAH 20 e APAH 30

Efetuada a caracterização granulométrica de cada uma das areias procedeu-se à realização da mistura de uma percentagem em massa de cada tipo de areia por forma a obter uma mistura a ser utilizada nas argamassas. Por se tratarem de areias lavadas, logo sem uma grande quantidade de partículas finas, optou-se por escolher uma maior percentagem de areias finas, nomeadamente a APAH 30 e APAH 20. Assim sendo foram adotadas as seguintes percentagens:

- APAH 12: 25%
- APAH 20: 37,5%
- APAH 30: 37,5%

Assim, procedeu-se à realização da mistura das areias nas devidas percentagens, Figura 3.3, e à análise granulométrica através do traçado da sua curva granulométrica, Figura 3.4 e Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Análise granulométrica da mistura de areia

modulo de finura	3,2
D [mm]	2,36
d [mm]	0,425



Figura 3.3 – Mistura de areia final

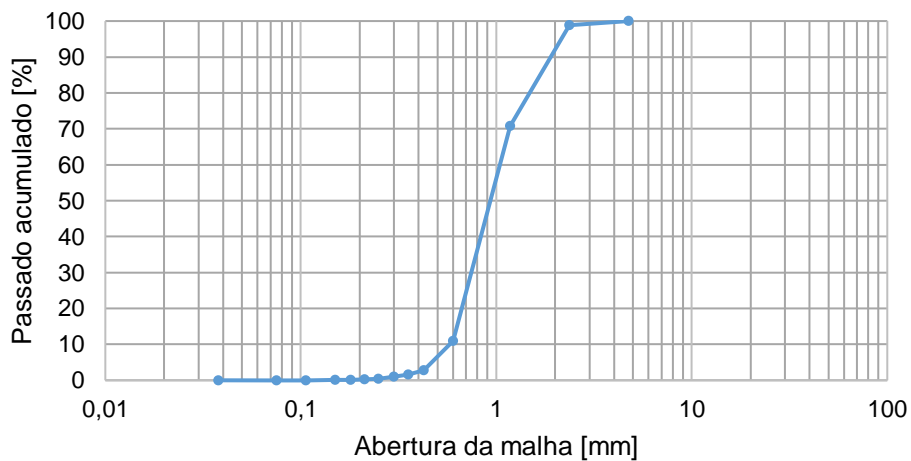


Figura 3.4 – Curva granulométrica da mistura de areias

3.3.2 Baridade

A baridade de cada material é a característica que permite converter o traço volumétrico em traço ponderado e assim calcular a massa necessária de cada material. Traduz-se pela massa por unidade de volume num dado recipiente, incluindo os vazios entre partículas. A forma das partículas e a sua compacidade dentro do recipiente influenciam diretamente o valor da baridade (J. Coutinho, 2002).

A baridade foi calculada com base na norma NP EN 1097-3:2002 (IPQ, 2002) e na ficha Fe 15 (FCT/UNL, 1996b). O ensaio consiste na determinação da massa de agregado necessária para preencher um determinado volume conhecido, Figura 3.3. A determinação do volume do recipiente utilizado consistiu em: i) pesar o recipiente e um quadrado de vidro secos; ii) encher o recipiente com água e, em seguida, rasar a água com o quadrado de vidro, Figura 3.3 (dir.), para garantir a ausência de bolhas de ar; iii) por fim, registou-se a massa do conjunto e subtraiu-se a massa do recipiente, mais o vidro, secos, obtendo-se assim a massa de água, convertendo-se em seguida em volume.

Em seguida, encheu-se um recipiente com o material, em três camadas, compactando cada camada com 25 pancadas com varão de aço. Em seguida calcula-se a baridade através da equação 3.1:

$$Ba = \frac{M}{V} [Kg/m^3] \quad 3.1$$

Em que:

- M – Massa de material contido no recipiente [Kg];
- V – Volume do recipiente [m^3].



Figura 3.3 – Cálculo da baridade: material utilizado (esq.) e cálculo do volume do recipiente (dir.)

A Tabela 3.3 apresenta os valores de baridade determinados para a mistura de areia, pellets moídos.

Tabela 3.3 – Baridade da areia, pellets moídos e cimento

Material	Ba [Kg/m ³]
Areia	1611,5
Pellets moídos	542,3
Cimento	1187,7

3.3.3 Obtenção de pellets moídos

Por forma a obter um agregado de pellets que possuísse uma granulometria equivalente à mistura de areia foi necessário obter a caracterização dos pellets no seu estado original. Para tal procedeu-se à análise granulométrica através do método de peneiração mecânica, descrito anteriormente em 3.3.1.

Como se pode verificar na Figura 3.4 e na Figura 3.5, a análise granulométrica permitiu concluir que os pellets no seu estado original não podem ser utilizados em argamassas, uma vez que nenhum material passou no peneiro nº4.



Figura 3.4 – Análise granulométrica de pellets inteiros: retido no peneiro 1"/2, 3"/8 e nº4

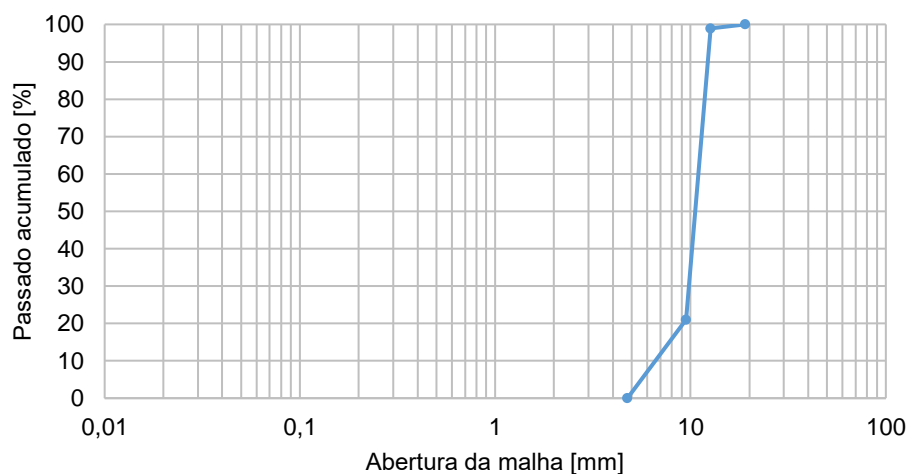


Figura 3.5 – Curva granulométrica de pellets inteiros

Como tal foi necessário proceder à moagem dos pellets de modo a obter um agregado com uma granulometria semelhante ao agregado natural. Devido ao facto de não se possuir uma trituradora optou-se pelo método de moagem manual, com recurso a um pilão metálico, uma caixa sem fundo que impedia o material de se dispersar após cada pancada e uma manta de plástico que facilitava a recolha do material moído, Figura. A moagem foi realizada com seguinte método: colocar uma quantidade no fundo da caixa, em seguida deixar cair o pilão 30 vezes, de uma altura +- 50cm (altura da caixa), reagrupar e voltar a dar mais 30 pancadas. Após o processo de pancadas recolhia-se o material que parecesse mais moído e peneirava-se manualmente apenas com o peneiro nº4 e o refugo, o material que ficasse retido no peneiro nº4 voltava para a caixa, o material que passava no peneiro nº4 era colocado num saco para posteriormente ser peneirado com o agitador mecânico.

Repetiu-se este procedimento até se obter a quantidade suficiente de pellets moídos para se realizar uma análise granulométrica, já descrita anteriormente. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados na Tabela 3.4, na Figura 3.7 e na Figura 3.8.



Figura 3.6 – Obtenção de pellets moídos: material utilizado (esq.) e pellets no interior da caixa (dir.)

Tabela 3.4 – Análise granulométrica dos pellets moídos

Módulo de finura	3,5
D [mm]	4,75
d [mm]	0,25

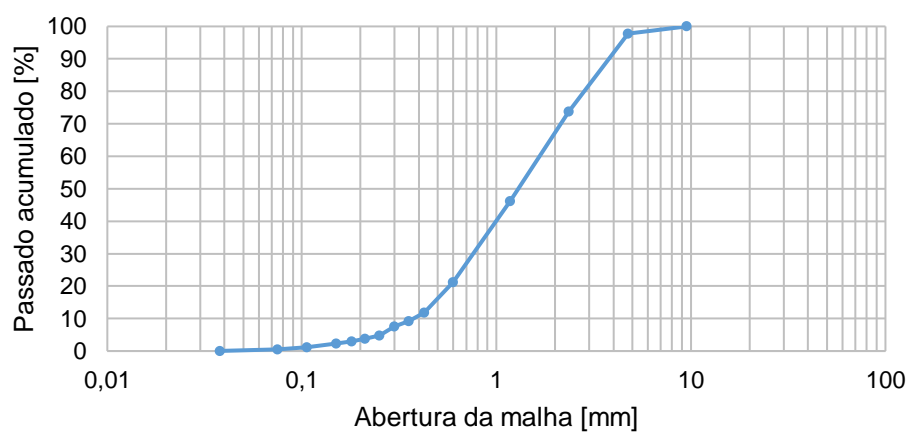


Figura 3.7 – Curva granulométrica de pellets moídos

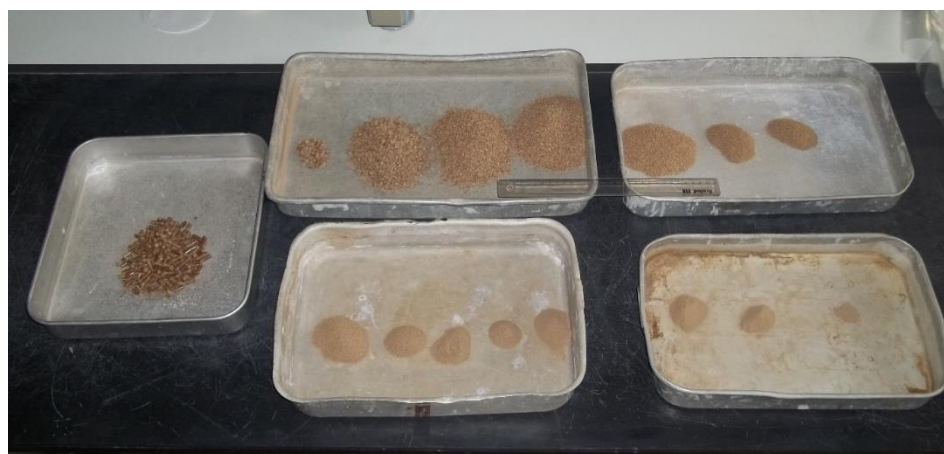


Figura 3.8 – Material retido nos vários peneiros da peneiração de pellets moídos

O módulo de finura obtido é superior ao módulo de finura da mistura das areias que foram utilizadas, pelo que foi necessário ajustar este valor. A opção tomada passou pela divisão dos pellets moídos em três gamas, Figura 3.9:

- Grossos: material retido até ao peneiro nº30
- Médios: material retido até ao peneiro nº70
- Finos: material retido até ao peneiro nº 200



Figura 3.9 – Diferenciação de granulometria de pellets moídos: grossos, médios e finos

Realizou-se então a análise granulométrica, incluindo a curva granulométrica, Figura 3.10, o módulo de finura, máxima e mínima dimensão de agregado das três granulometrias, Tabela 3.5.

Os pellets de granulometria fina acabaram por ser rejeitados, pois por um lado apresentam um módulo de finura bastante baixo, muito inferior a qualquer uma das areias, e por outro lado consoante se foi obtendo os pellets moídos verificou-se que a quantidade de pellets de granulometria fina obtida era bastante inferior, quando comparada com as granulometrias grossa e média, pelo que seria necessária uma quantidade de pellets inteiros bastante superior à disponível, para se conseguir obter a quantidade de finos necessária.

Tabela 3.5 – Módulo de finura, máxima e mínima dimensão: pellets grossos, médios e finos

Parâmetro	Granulometria		
	Grossos	Médios	Finos
Módulo de finura	4,0	1,8	0,4
D [mm]	4,75	0,6	0,212
d [mm]	0,6	0,25	0,038

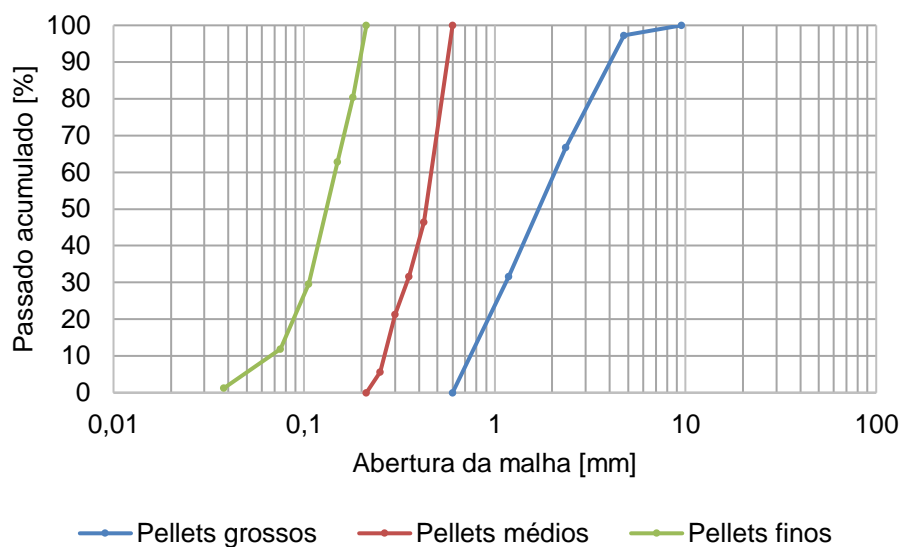


Figura 3.10 – Curva granulométrica: pellets grossos, médios e finos

Assim, definiu-se as seguintes quantidades das diferentes granulometrias de pellets moídos a utilizar na mistura final:

- 51,84% de pellets grossos
- 48,16% de pellets médios

Em seguida, procedeu-se à realização de uma amostra desta mistura e dessa amostra calculou-se a baridade, pelo método descrito em 3.3.2, Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Caracterização granulométrica da mistura de pellets

Módulo de finura	3,0
D [mm]	4,75
d [mm]	0,25
Ba [Kg/m³]	542,3

3.3.4 Ligante

O ligante utilizado na presente dissertação foi o cimento Portland de calcário CEM II/B-L 32,5-N, fabricado pela SECIL – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. na fábrica SECIL – Outão. Obedece a todos os requisitos impostos pela norma NP EN 197-1 (IPQ, 2007). Os seus dados técnicos principais são apresentados na Tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Principais características do CEM II/B-L 32,5N (Secil, 2016)

Clínquer Portland		65% a 79%
Calcário		21% a 35%
Outros constituintes		0% a 5%
Teor de Sulfatos		≤ 3,5% (em massa de cimento)
Teor de Cloretos		≤ 0,10 % (em massa de cimento)
Resistência à compressão	7 dias	≥ 16 MPa
	28 dias	≥ 32,5 MPa e ≤ 52,5 MPa
Princípio de presa		≥ 75 min
Expansibilidade		≤ 10mm

3.3.5 Superplastificante

O superplastificante utilizado na campanha experimental foi o ChrysoFluid AG, que pertence à família dos naftalenos, segunda geração de superplastificantes, onde a ação dispersiva é obtida através da repulsão eletrostática provocada pela ionização das partículas do ligante com o mesmo sinal de carga (Baltazar et al., 2013). A Tabela 3.8 apresenta as principais características do superplastificante utilizado, que constam da ficha técnica, Anexo III.

Tabela 3.8 – Características do ChrysoFluid AG

Aspeto (cor)	Castanho-escuro
Massa volúmica (20°C)	1,20 g/cm ³
Ponto de congelação	-5°C
Conteúdo de iões	Isento (≤ 0,1%)
pH	7

3.4 Produção das argamassas

O subcapítulo “Produção de argamassas” descreve todas etapas realizadas, decisões e justificações para essas decisões na realização de argamassas. Começa pela decisão da relação água/ligante (a/l), quantidade de cimento e de superplastificante (SP). Em seguida descreve o método de amassadura, de elaboração de provetes e, por fim, as condições de cura.

3.4.1 Composição das argamassas

Sendo o objetivo desta dissertação formular argamassas de revestimento com incorporação de pellets de madeira, segundo a norma EN 1015-3:1999 (CEN, 1999c) o espalhamento para este tipo de argamassas é de 175±10 mm. Tendo como objetivo atingir esse valor para o espalhamento de argamassas com incorporação de pellets de madeira, definiu-se um traço volumétrico de 1:3 (ligante:agregado) e a partir daí definiu-se também um ponto de partida para a relação a/l e para a quantidade de

SP utilizada. Após cada amassadura realizou-se o ensaio de espalhamento, de modo a verificar se a argamassa se encontrava dentro da gama de valores pretendidos. Caso não se encontrasse no intervalo pretendido, por defeito ou por excesso, incrementava-se ou diminuía-se a relação a/l e a quantidade de SP.

Após a realização de algumas amassaduras obteve-se argamassas com o espalhamento pretendido para 0%, 10%, 20%, 30% e 40% de substituição de areia pela mistura de pellets e realizaram-se provetes prismáticos para verificar se estes evidenciavam coesividade suficiente para o cumprimento dos objetivos definidos. Contudo, verificou-se que os provetes correspondentes às argamassas com maior dosagem de pellets não conseguiam apresentar uma resistência mecânica que permitisse sequer manuseá-los, Figura 3.11 (esq.).

O passo seguinte consistiu em aumentar a quantidade de ligante para um traço volumétrico 1:2 e efetuar os passos já descritos anteriormente até se obter um espalhamento dentro dos parâmetros pretendidos. À medida que se ia obtendo, para cada dosagem de substituição de areia por mistura de pellets, argamassas com espalhamento pretendido foram realizados provetes para verificar se os provetes no estado endurecido, ao fim de 3 dias, apresentavam resistências mecânicas aceitáveis. Os resultados foram semelhantes aos obtidos anteriormente, como se pode verificar na Figura 3.11 (dir.).



Figura 3.11 – Argamassas de teste: traço volumétrico 1:3 (esq.) e 1:2 (dir.)

Os resultados obtidos levaram a que fosse necessário efetuar mais um aumento na quantidade de ligante. A decisão tomada foi aplicar um traço em massa de 1:1,3 (ligante:agregado), convertê-lo para traço volumétrico 1:0,96 (ligante:agregado), realizar uma argamassa com 40% de pellets como substituto de areia, sem grandes preocupações em termos de trabalhabilidade, realizar um provete e verificar se, após desenvolver presa, o mesmo possuía uma resistência que permitisse o seu manuseamento e a execução dos ensaios previstos. Os resultados foram satisfatórios, pelo que se adotou o traço volumétrico de 1:0,96 e como anteriormente realizaram-se argamassas de teste para as várias dosagens de substituição de pellets com o objetivo de obter argamassas com um espalhamento dentro da gama de valores pretendida.

Uma vez obtidas todas as dosagens, Tabela 3.9, procedeu-se ao cálculo das quantidades de agregados (areia e pellets moídos), cimento, água e SP necessárias para a realização dos provetes pretendidos.

Tabela 3.9 – Argamassas: relação a/l e % de superplastificante

Argamassa	Relação a/l	Superplastificante [% massa de ligante]
Mix 1	0,30	0,30%
Mix 2	0,40	0,35%
Mix 3	0,45	0,40%
Mix 4	0,55	0,50%
Mix 5	0,63	0,55%

3.4.2 Elaboração de argamassas

A elaboração de argamassas foi constituída por duas etapas:

- pesagem e preparação de todos os constituintes das argamassas;
- amassadura.

A pesagem dos agregados e ligante foi realizada numa balança de precisão 0,1 g. Os elementos foram pesados e depois misturados no mesmo tabuleiro de forma a que obter uma mistura homogénea. A quantidade de água foi pesada na mesma balança, mas em duas porções, uma de 80% e outra de 20% à qual se adicionou a quantidade de SP necessária em cada argamassa.

Relativamente à amassadura das argamassas, esta foi realizada segundo a ficha de ensaio Fe 19 (FCT/UNL, 1996a), recorrendo a um misturador mecânico, Figura 3.12. O procedimento consistiu em colocar a mistura de agregados e ligante secos na cuba e ligar a misturadora durante 30s. Em seguida adicionou-se os 80% de água durante 15s e deixou-se misturar durante 1 minuto, após o qual se fez uma paragem para limpar as paredes da cuba. Ligou-se de novo a misturadora e adicionou-se



Figura 3.12 – Misturador mecânico

os 20% de água contendo o SP e deixou-se misturar durante mais 90s. Sempre que necessário fez-se uma pausa na amassadura para limpar as paredes da cuba e recomeçou-se a amassadura.

3.4.3 Provetes

Após a realização da amassadura de cada mistura de argamassa procedeu-se à elaboração de provetes. Como foi referido em 3.2, foram realizados provetes para vários tipos de ensaios. Assim, realizaram-se 6 provetes prismáticos, 2 tijolos com reboco e 4 a 5 bolachas de argamassa. Os provetes prismáticos foram realizados em moldes previamente pincelados com óleo descofrante, por forma a que na altura da descofragem o processo fosse mais fácil e, simultaneamente, reduzindo o risco de danificar os provetes. O preenchimento dos moldes foi realizado de acordo com a Fe 19 (FCT/UNL, 1996a). A argamassa foi colocada no molde, previamente posicionado na mesa de compactação, em duas camadas e cada uma delas compactada com 20 pancadas. Após o processo de enchimento, a argamassa em excesso foi rasada com recurso a uma colher de pedreiro, de forma a que a superfície ficasse nivelada, Figura 3.13.

Para a realização dos tijolos com reboco, que se destinaram à realização de ensaios de aderência ao suporte, resistência à água líquida sob baixa pressão, coesão superficial e dureza superficial foi colocado um molde que garantiu uma espessura de argamassa igual em todos os casos. Humedeceu-se a superfície do tijolo e do molde com um borrifador de água, de modo a evitar que o suporte absorvesse água da argamassa necessária para as reações de hidratação. Para que todas as argamassas fossem compactadas com a mesma força, colocou-se uma caixa, para garantir que a argamassa caiu sempre da mesma altura e assim eliminar a variável da força de compactação durante a aplicação, que pode variar em cada aplicação, mesmo que o aplicador seja o mesmo, Figura 3.14 (esq.).

Em seguida retirou-se a caixa e procedeu-se ao alisamento da superfície de reboco, tendo sempre a preocupação de não compactar a argamassa, Figura 3.14 (dir.).



Figura 3.13 – Molde de provetes prismáticos



Figura 3.14 – Tijolo com reboco: aplicação (esq.) e alisamento (dir.)

As bolachas de argamassa, destinadas ao ensaio de condutibilidade térmica, foram realizadas com recurso a um molde cilíndrico colocado sobre uma peça de azulejo cerâmico. O molde foi preenchido com argamassa apertada com a maior força possível, de modo a minimizar a existência de vazios no interior da bolacha. Por fim rasou-se a superfície, de modo a que ficasse o mais lisa possível, Figura 3.15.



Figura 3.15 – Execução de bolachas: preenchimento e razamento do molde

3.4.4 Condições de cura

Após todos os provetes estarem concluídos foram colocados numa sala de ambiente condicionado, com condições aproximadas de $26 \pm 3^\circ\text{C}$ e humidade relativa de $48 \pm 5\%$, como se pode ver na Figura 3.16.

Após 7 dias, os provetes prismáticos foram descofrados, identificados e colocados sobre suportes de poliestireno de modo a promover as mesmas condições de cura para todas as faces, Figura 3.17. Aos 28 dias deu-se o início dos ensaios experimentais.



Figura 3.16 – Condições de cura: temperatura e humidade relativa



Figura 3.17 – Provetes prismáticos em processo de cura

3.5 Caracterização das argamassas no estado fresco

No presente subcapítulo são descritos e tecidos alguns comentários sobre todos os ensaios realizados em argamassas no estado fresco.

3.5.1 Consistência por espalhamento

O valor da consistência por espalhamento é a quantificação da fluidez das argamassas no estado fresco e fornece uma indicação sobre a deformabilidade dessas argamassas quando submetidas a um determinado tipo de tensão (Faria, 2004).

O ensaio de consistência por espalhamento, em argamassas no estado fresco, foi realizado com base na norma EN 1015-3 (CEN, 1999c). Este ensaio permite determinar a quantidade de água a incorporar na argamassa, de acordo com um espalhamento previamente definido. No caso da presente

dissertação, de acordo com a norma EN 1015-3, para argamassas de cimento o espalhamento indicado é 175 ± 10 mm. Para a realização deste ensaio é necessária uma mesa de espalhamento, um molde cônico e um varão de apiloamento devidamente humedecidos. Coloca-se o molde centrado na mesa, com a abertura maior para baixo e preenche-se com argamassa. O preenchimento é feito em duas camadas, cada uma delas apiloada 25 vezes, no final rasa-se o material em excesso e retira-se cuidadosamente o molde. Em seguida, com recurso à manivela da mesa de espalhamento, dá-se 15 pancadas em 15 segundos. Por fim, mede-se o diâmetro, do círculo de argamassa na mesa espalhamento, em 4 direções. O valor de espalhamento é obtido determinando a média dos diâmetros. A Figura 3.18 ilustra a sequência de procedimentos deste ensaio.



Figura 3.18 – Ensaio de espalhamento

3.5.2 Massa volúmica aparente em pasta

O ensaio realizado para a determinação da massa volúmica aparente em pasta foi realizado com base na norma EN 1015-6 (CEN, 1998). A realização deste ensaio teve como objetivo avaliar o efeito produzido, pela introdução de diferentes percentagens de wood pellets, na massa volúmica aparente em pasta da argamassa.

Este ensaio consiste na pesagem de um recipiente vazio, de volume conhecido (utilizado em 3.3.2), seguindo-se enche-se o recipiente com argamassa, em três camadas, compactando cada camada com 25 pancadas com varão de aço e rasa-se para retirar a argamassa em excesso. Por fim, regista-se a massa do recipiente com argamassa e obtém a massa volúmica através da equação 3.2.

$$\rho = \frac{M_1 - M_0}{V}$$
3.2

Em que:

ρ – Massa volúmica aparente em pasta [kg/m³];

M_1 – Massa do recipiente preenchido com argamassa [kg];

M_0 – Massa do recipiente vazio [kg];

V – Volume do recipiente [m³].

3.6 Caracterização das argamassas no estado endurecido

No presente subcapítulo são descritos e tecidos alguns comentários sobre todos os ensaios realizados em argamassas no estado endurecido, após 28 dias de cura.

Assim, a campanha de ensaios experimentais em argamassas no estado endurecido foi composta pelos seguintes ensaios:

- Condutibilidade térmica;
- Módulo de elasticidade dinâmico;
- Resistência à tração por flexão;
- Resistência à compressão;
- Massa volúmica aparente, massa volúmica real e porosidade aberta;
- Absorção de água por capilaridade;
- Secagem;
- Coesão superficial;
- Dureza superficial por durómetro Shore A;
- Aderência ao suporte.

3.6.1 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica de cada argamassa foi calculada com recurso ao equipamento ISOMET 2104 (heat transfer analyser) e à respetiva sonda de superfície API 210412. As bolachas de argamassa foram colocadas em estufa a 60°C durante 24h, por forma a uniformizar o teor em água. Após serem retiradas da estufa esperou-se que atingissem a temperatura ambiente. Após isso, procedeu-se à realização de ensaio que consiste em colocar a bolacha em cima de uma placa de XPS, por forma a garantir condições de fronteira homogénea, e por cima da bolacha colocou-se a sonda de superfície API 210412, Figura 3.19. Selecionou-se a opção “Thermal Conductivity” do equipamento ISOMET 2104 e esperou-se que o aparelho devolvesse o valor da condutibilidade térmica (λ). Repetiu-se este processo para todas as bolachas.

Os valores de condutibilidade foram expressos em W/m.K, e o valor de condutibilidade térmica para cada argamassa foi obtido através da média dos valores obtidos.



Figura 3.19 – Ensaio de condutibilidade térmica

3.6.2 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado com base na norma NP EN 14146:2006 (IPQ, 2006) para pedra natural. Para a realização deste ensaio foram utilizados os provetes destinados aos ensaios destrutivos (tração por flexão, compressão e porosidade aberta), são necessários os dados geométricos (comprimento, largura e altura), a massa de cada provete a ensaiar e o valor da aceleração da gravidade arredondado às centésimas. O equipamento utilizado foi o “ZEUS Resonance Meter” (ZRM 001), indicado para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico, Figura 3.20.

Esta propriedade quantifica a capacidade de uma argamassa absorver deformações, ou seja, um material mais rígido apresenta um módulo de elasticidade dinâmico mais elevado. Deste modo, a partir do módulo de elasticidade dinâmico é possível caracterizar uma argamassa em termos de resistência à fendilhação e compatibilidade com o suporte, ao nível da deformabilidade (Dias, 2013).

Com os *inputs* fornecidos, o equipamento determina a frequência de ressonância longitudinal f_0 (i.e. a frequência mais alta para a qual se obtém a amplitude máxima). O cálculo do módulo de elasticidade dinâmico é realizado recorrendo à equação 3.3.

$$Ed = (2 \times L \times f_0) \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} [MPa] \quad 3.3$$

Em que:

Ed – Módulo de elasticidade dinâmico [MPa];

L – Comprimento do provete [mm];

f_0 - Frequência de ressonância longitudinal [Hz];

ρ – Peso específico [N/m³];

g – Aceleração gravítica [m/s²].

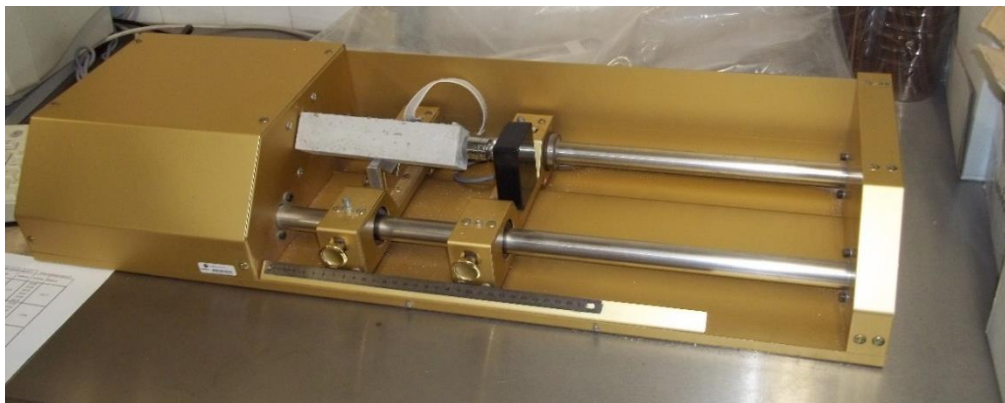


Figura 3.20 – Equipamento utilizado para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico

O provete é colocado no aparelho, com um topo em contacto com a fonte emissora de ultrassons e o outro em contacto com a fonte recetora, são introduzidos os dados geométricos e massa do provete e o equipamento calcula automaticamente o valor do módulo de elasticidade dinâmico (E_d). Mantendo os topos na mesma posição, rodou-se o provete e registou-se o valor do módulo de elasticidade dinâmico para cada posição. Depois, trocando os topos e rodando o provete, registaram-se mais 2 valores de módulo de elasticidade dinâmico.

3.6.3 Resistência à tração por flexão

Após a realização do ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico procedeu-se à realização do ensaio de determinação da resistência à tração por flexão. O ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-11 (CEN, 1999a) e na ficha de ensaio Fe 27 (FCT/UNL, 1999).

Para a realização do ensaio foi necessária a máquina universal Zwick/Rowell, com a introdução de célula de carga de 2 kN aplicada a meio vão do provete apoiado sobre dois apoios afastados 100 mm. Os provetes foram apoiados de forma a que a parte rugosa não ficasse em contacto com os apoios, nem em contacto com a célula de carga, para que a carga fosse exercida numa superfície lisa, Figura 3.21. O software da máquina foi programado para aplicar a carga à velocidade de 5,1 mm/min. Enquanto a carga é aplicada, o software constrói um gráfico com a força [N] em função do deslocamento [mm] e regista a força máxima (F_t) aplicada imediatamente antes da rotura.

Uma vez registada a força de rotura, a resistência à tração por flexão (R_t) é através da Equação 3.4:

$$R_t = \frac{\frac{M \times d}{2}}{I} \quad 3.4$$

Em que:

R_t – Resistência à tração [MPa]

M – Momento produzido pela força aplicada [N.mm]

I – Inércia do provete [mm^4]

d – Altura do provete [mm]

Tendo em conta a secção quadrada do provete e considerando um modelo simplesmente apoiado, obtém-se a Equação 3.5, que traduz o cálculo do momento criado pela carga aplicada e para a inércia do provete:

$$M = \frac{F_t \times l}{4} \quad 3.5$$

Em que:

M – Momento produzido pela carga aplicada [N.mm]

F_t – Força última aplicada a meio vão [N]

l – Distância entre apoios [mm]

Por sua vez, é conhecida a expressão que traduz o momento de inércia de uma secção quadrada, que é dada pela Equação 3.6:

$$I = \frac{b \times d^3}{12} \quad 3.6$$

Em que:

I – Inércia do provete [mm^4]

b – Largura do provete [mm]

d – Altura do provete [mm]

Simplificando as expressões acima indicadas, a resistência à tração por flexão pode ser expressa pela equação 3.7:

$$R_t = 1,5 \frac{F_t \times L}{b d^2} \text{ [MPa]} \quad 3.7$$

Em que:

F_t – Força máxima de tração por flexão [N]

l – Distância entre apoios [mm]

b – Largura do provete [mm]

d – Altura do provete [mm]



Figura 3.21 – Ensaio de resistência à tração por flexão

3.6.4 Resistência à compressão

O ensaio para a determinação de resistência à compressão foi realizado com base na norma EN 1015-11 (CEN, 1999a) e na ficha de ensaio Fe 27 (FCT/UNL, 1999). O equipamento utilizado foi o mesmo que no ensaio de resistência à tração por flexão, recorrendo neste caso a uma célula de carga de 50 kN para compressão de prismas com 40x40 mm² de secção.

Colocou-se o provete no dispositivo, garantindo que a face rugosa ficava disposta lateralmente, de modo a garantir que as células de compressão atuassem numa face lisa, Figura 3.22. O software da máquina foi programado para aplicar a carga à velocidade de 5,2 mm/min.. Enquanto a carga é aplicada, o software constrói um gráfico com a força [N] em função do deslocamento [mm] e regista a força máxima (F_c).

Uma vez registada a força de rotura, a resistência à compressão (R_c) é calcula pela equação 3.8.

$$R_c = \frac{F_c}{A} [MPa] \quad 3.8$$

Ao ensaiar-se os provetes de referência (com 0% de adição de pellets) verificou-se que a força máxima que a Zwick/Rowell consegue aplicar (50 kN) não era suficiente para os levar a atingir a rotura. Pelo que os provetes de referência foram ensaiados na prensa hidráulica FORM-TEST com uma capacidade máxima de 3000 kN, Figura 3.23. A carga foi aplicada com uma velocidade de 0,1 kN/s



Figura 3.22 – Ensaio de resistência à compressão



Figura 3.23 – Ensaio de resistência à compressão dos provetes de referência

3.6.5 Massa volúmica aparente, massa volúmica real e porosidade aberta

O ensaio para a determinação das massas volúmicas real (MVR) e aparente (MVA) e da porosidade aberta (PA) foi realizado com base na norma NP EN 1936 (IPQ, 2008). Este ensaio permite obter os dados necessários para o cálculo de cada um dos três parâmetros (MVA, MVR e PA).

Para a realização deste ensaio foram utilizadas as extremidades resultantes de todos os provetes sujeitos ao ensaio de resistência à compressão. Após o ensaio de resistência à compressão, cada provete (metade de um provete prismático 4x4x16 cm³) ficou separado em três partes: a parte central não se aproveitou, uma vez que foi esmagada no ensaio de resistência à compressão, e as extremidades que na maior parte dos casos se conseguiu com que se separassem da parte central sem se danificar. Assim, de um modo geral cada provete prismático originou 4 partes para este ensaio, no seguimento da descrição essas “partes” passarão a ser referidas como “provetes”.

Antes de se realizar o ensaio, os provetes foram colocados em estufa a 60°C durante 48 h. Imediatamente antes de se iniciar o ensaio foram pesados numa balança com precisão de 0,001g e registada a sua massa seca (M_1). Em seguida foram colocados no interior do exsiccador, ligada a uma

bomba de vácuo. Foram mantidos nessas condições durante 24 h. Após esse tempo foi introduzida água lentamente (durante aproximadamente 15 minutos), através de uma válvula, até que os provetes ficassem totalmente submersos. Os provetes ficaram mais 24 h nessas condições. Após as 24 h, foi desligada a bomba de vácuo e aberta a válvula, de modo a restabelecer as condições da pressão atmosférica no interior do exsiccador e deixou-se assim durante 24 h. Por fim, após as 24 h os provetes foram retirados e realizou-se dois tipos de pesagem:

- Pesagem hidrostática (M_2): consiste em colocar o provete num cesto, totalmente submerso por água, acoplado a uma balança, Figura 3.24 (esq.);
- Pesagem do provete saturado (M_3): após a pesagem hidrostática os provetes foram colocados em cima de um pano húmido, por forma a retirar o excesso de água, e em seguida foram pesados na balança, Figura 3.24 (dir.).

Os valores da massa volúmica aparente (MVA), da massa volúmica real (MVR) e da porosidade aberta (PA) de cada provete foram determinados com recurso às seguintes equações:

- Massa volúmica aparente:

$$MVA = \frac{M_1}{M_3 - M_2} \times 10^3 [Kg/m^3] \quad 3.9$$

- Massa volúmica real:

$$MVR = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \times 10^3 [Kg/m^3] \quad 3.10$$

- Porosidade aberta:

$$PA = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100 [\%] \quad 3.11$$

Em que M_1 , M_2 e M_3 são, respetivamente, a massa seca, a massa hidrostática e a massa saturada, em gramas.



Figura 3.24 – Pesagem hidrostática (esq.) e pesagem saturada (dir.)

3.6.6 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado com base na norma EN 1015-18:2002 (CEN, 2002) e decorreu em sala condicionada com temperatura de $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $48\pm 5\%$. O objetivo do ensaio foi determinar o coeficiente de capilaridade, que traduz a velocidade com que a água é absorvida numa fase inicial, permitindo aferir comportamento da argamassa em condições de molhagem, e o valor assintótico, que expressa a quantidade máxima de água absorvida pela argamassa, cujo valor quanto mais elevado implica uma maior quantidade de poros capilares por parte da argamassa.

Na realização deste ensaio foram utilizados provetes prismáticos $4\times 4\times 16\text{ cm}^3$ que foram condicionados em estufa a $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 h para garantir o seu estado seco aquando do início do ensaio. Antes de se proceder à realização do ensaio os provetes foram impermeabilizados nas faces laterais, com recurso a cera de abelha e pez de louro (mistura ao traço 1:1, em massa), por forma a garantir uma absorção de água unidirecional, Figura 3.25.

Após a impermeabilização das faces laterais dos provetes foi preparada uma caixa de plástico onde decorre o ensaio (com um ambiente húmido) e um tabuleiro, que é colocado no interior da caixa, com uma lâmina de água de 5 mm e uma rede de plástico no seu interior, por forma a garantir que as faces inferiores dos provetes estavam sempre em contacto com a água. Cada provete foi pesado e em seguida colocado sobre a lâmina de água, Figura 3.26. Os provetes foram colocados no tabuleiro com um desfasamento temporal entre si para permitir efectuar as pesagens nos instantes previstos. Em seguida registou-se a massa de cada provete aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos e, após isso, de hora a hora até à 7ª hora e depois de 24 h em 24 h até a sua massa estabilizar, i.e., quando a diferença entre duas massas sucessivas for inferior a 1%. A caixa foi mantida fechada com a tampa, de modo a manter condições de ambiente constantes e diminuir a quantidade de água evaporada. Sempre que se realizou uma pesagem foi tido o cuidado de deslocar cada provete até à balança sem deixar que este pingasse sobre outros provetes, e verificou-se também a altura de lâmina de água, repondo água sempre que se verificava uma altura inferior aos 5 mm.



Figura 3.25 – Absorção de água por capilaridade: mistura de cêra de abelha e pez de louro (esq.) e provetes impermeabilizados (dir.)

À medida que se foram obtendo valores das massas nos vários instantes foi sendo construindo um gráfico que relaciona a quantidade de água absorvida por área da base [Kg/m²] com a raiz quadrada do tempo [min^½]. A quantidade de água absorvida (M) é dada pela equação 3.12.

$$M = \frac{m_i - m_0}{S} \text{ [Kg/m}^2\text{]} \quad 3.12$$

Em que:

m_i – massa do provete no instante i [Kg];

m_0 – massa do provete no instante inicial [Kg];

S – área da secção do provete em contacto com a água.

O coeficiente de capilaridade (CC) foi obtido através do calculo do declive do troço inicial do gráfico, que representa a absorção de água inicial, expresso em [kg/m².s^{0.5}].

O valor assintótico (VA) é obtido no final do ensaio e calcula-se dividindo a quantidade máxima de água absorvida pela área de secção, o seu valor é expresso em [Kg/m²].



Figura 3.26 – Absorção de água por capilaridade: provetes em contacta com a lâmina de água

3.6.7 Secagem

O ensaio de secagem foi realizado com base norma EN 16322:2013 (CEN, 2013) e permite avaliar a facilidade com que o material perde a água absorvida. Este ensaio inicia-se logo a seguir ao término do ensaio de absorção de água por capilaridade, sendo necessário apenas realizar uma tarefa antes de se dar início ao ensaio propriamente dito.

Como foi referido anteriormente, após o ensaio de absorção de água por capilaridade os provetes foram retirados do tabuleiro e foi colocada, em cada um, uma película de papel aderente e um elástico na face que esteve em contacto com a água, de forma a garantir que o papel aderente não se soltava, Figura 3.27. Este procedimento foi realizado por forma a garantir que a secagem decorra de forma unidireccional, nomeadamente através do topo superior do provete.

Após a impermeabilização da face inferior, os provetes foram pesados e colocados numa bancada metálica lisa e horizontal em sala condicionada com temperatura de $26\pm3^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $48\pm5\%$, de modo a garantir a constância das condições de temperatura e humidade relativa. Em seguida foram realizadas pesagens de hora a hora, até à 9ª hora e depois de 24 h em 24 h até se atingir massa constante entre pesagens sucessivas.

Durante o decorrer do ensaio foi sendo construída a curva de secagem, de modo a acompanhar a evolução ao longo do tempo. A curva de secagem relaciona o teor em água [%] em função do tempo [h]. O teor em água foi obtido com recurso à equação 3.13.

$$Wt = \frac{m_i - m_0}{m_0} [\%] \quad 3.13$$

Em que:

m_i – massa do provete no instante i [Kg];

m_0 – massa do provete seco [Kg].

A taxa de secagem (TS), em Kg/m^2) corresponde ao declive do troço inicial da curva de secagem, que traduz a velocidade de secagem inicial de cada provete. Seguidamente foi calculado o índice de secagem (IS), que traduz a evolução global do processo de secagem, através da equação 3.14.

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n [(t_i - t_{i-1}) \times (\frac{w_{i-1} + w_i}{2})]}{w_{max} \times t_f} \quad 3.14$$

Em que:

t_i – tempo de ensaio i [h];

t_f – tempo final de ensaio [h];

w_i – teor de água do provete no instante i [%];

w_{max} – teor de água máximo, no início do ensaio [%].



Figura 3.27 – Ensaio de secagem

3.6.8 Coesão superficial

O ensaio de coesão superficial teve como objetivo avaliar a coesão superficial de argamassas aplicadas sobre tijolos. Para tal, e visto não existir um procedimento uniformizado e adotado por outros autores, optou-se por tentar uniformizar o máximo possível o procedimento de modo a poder ser replicado em qualquer investigação futura.

Assim, a realização do ensaio consistiu em recortar dois pedaços de fita-cola de secção quadrada com dimensão de $50 \times 50 \text{ mm}^2$, para cada provete, e registar a massa de cada um. Em seguida colaram-se os quadrados de fita-cola na argamassa e aplicou-se um peso, com uma massa de 5 Kg durante 30 minutos, Figura 3.28. Por forma a garantir a distribuição do peso apenas na área dos quadrados colocou-se, entre a fita-cola e o peso, um material resistente com a mesma secção da fita-cola, em que a face em contacto com a fita-cola é esponjosa de modo a acomodar-se à rugosidade da superfície e assim garantir o contacto integral com a fita-cola. Passados os 30 minutos arrancou-se cada quadrado de fita-cola e pesou-se numa balança com precisão não inferior a 0,001g. A diferença de massa de cada quadrado de fita-cola entre o fim e o início do ensaio corresponde à quantidade de material removido da superfície da argamassa.



Figura 3.28 – Coesão superficial: várias etapas do ensaio

3.6.9 Dureza superficial por durómetro Shore A

O ensaio de determinação da dureza superficial por durómetro Shore A foi realizado após o ensaio de coesão superficial, com base na norma ASTM D2240 (2000). O durómetro shore A, Figura 3.29 (esq.), mede a resistência da argamassa à penetração de um pino. O facto de ser um ensaio bastante simples permitiu que fossem realizadas bastantes medições, pelo que se optou por “desenhar” uma matriz 3x3 e assim obter 9 medições.

Antes de se realizar qualquer medição, os tijolos foram limpos com uma vassoura para se fossem eliminados vestígios de material solto que pudessem influenciar os resultados do ensaio. Após a limpeza da superfície foram realizadas as medições. Para se realizar uma medição basta encostar o pino à superfície e carregar até que a base mais larga do durómetro encoste à superfície e registar o valor mostrado no manómetro analógico, conforme a Figura 3.29 (dir.). Foi tido o cuidado de escolher uma zona que não apresentasse irregularidades, quer fossem saliências ou buracos, que alterariam completamente o resultado obtido.



Figura 3.29 – Dureza superficial: durómetro (esq.) e realização do ensaio (dir.)

3.6.10 Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – tubos de Karsten

Uma característica bastante importante de argamassas de revestimento é a capacidade de absorver água. De modo a avaliar essa característica foi realizado o ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão através da utilização de tubos de Karsten. O ensaio foi realizado com base na ficha de ensaio Fe Pa 39 do LNEC (LNEC, 2002) e no Test nºII.4 da RILEM (RILEM, 1980). Este ensaio foi realizado nas argamassas assentes em tijolo que foram utilizadas para os ensaios de coesão superficial e dureza superficial e a sua realização visa simular uma situação de chuva forte durante 1 hora.

A realização do ensaio começou com a colagem dos tubos de Karsten na superfície de argamassa. Antes de serem colados, mediu-se o diâmetro da superfície de cada tudo que ficou em contacto com a argamassa. A colagem foi realizada com recurso a plasticina, previamente trabalhada de modo a obterem-se círculos de plasticina de diâmetro igual à abertura dos tubos de Karsten. Em seguida a plasticina foi colada nos tubos de Karsten, tendo especial atenção para que a abertura do tubo não ficasse obstruída parcialmente por plasticina e assim alterasse a área de absorção. Depois colou-se cada tubo à argamassa encostando a abertura com plasticina e pressionando de forma a garantir estanquidade na interface entre a argamassa e a plasticina, Figura 3.30 (esq.). Após a fixação dos tubos à argamassa encheu-se cada tubo até à marca dos 0 ml e iniciou-se a contagem do tempo, Figura 3.30 (dir.). Os tubos foram cheios com o desfasamento de 1 minuto entre eles.

Durante o decorrer do ensaio foi registada a quantidade de água absorvida aos 5, 10, 15, 30 e 60 minutos, e foi também registado o tempo que cada argamassa demorou a absorver 1, 2, 3 e 4 ml. Inicialmente pensou-se em voltar a encher cada tubo, quando a quantidade de água absorvida registasse o valor de 4 ml, mas, em algumas argamassas, verificou-se uma elevada fendilhação. Corinaldesi et al. (2016) ao verificar uma retração excessiva concluiu que os resíduos de madeira utilizados absorvem parte da água da amassadura. Poderá ter ocorrido nesta investigação um efeito semelhante, que consequentemente levou a uma retração excessiva, aliada ao facto de a argamassa em contacto com o tijolo ter o deslocamento impedido, originou a ocorrência de fendilhação na argamassa.

O facto de as argamassas apresentarem uma elevada fendilhação levou a que, assim que a água entrava em contacto com uma fenda, esta simplesmente escorria, o que desvirtuava completamente o resultado obtido, como se pode verificar na Figura 3.31. Verificando mais atentamente à imagem do lado direito da Figura 3.31, é possível observar que a água atingiu o suporte sem “molhar” a superfície da argamassa, ou seja, chegou ao suporte passando pelas fendas existentes. Pelo que, dado este efeito, e de forma a reduzir a probabilidade de a água encontrar alguma fenda, optou-se por não se encher os tubos no momento em que fossem absorvidos 4 ml de água, dando o ensaio por concluído quando a quantidade de água absorvida chegasse aos 4 ml.



Figura 3.30 – Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão: pormenor de colagem (esq.) e aspeto geral do ensaio (dir.)



Figura 3.31 – Efeito da fendilhação no ensaio de permeabilidade à água líquida

Os resultados obtidos permitem avaliar a permeabilidade da argamassa à água líquida de duas formas: i) através da quantidade de água absorvida num determinado período de tempo; ii) através o tempo necessário para absorver 4 ml de água.

Essa avaliação é realizada através do coeficiente de absorção de água ($C_{\text{absorção}}^t$) obtido através da equação 3.15, que relaciona a quantidade de água absorvida numa determinada área durante um determinado período de tempo.

$$C_{\text{absorção}}^t = \frac{m_{\text{abs}} \times 10^{-3}}{\frac{\pi \times d^2}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}} \quad [\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})] \quad 3.15$$

Em que:

m_{abs} – massa de água absorvida [g];

d – diâmetro interno do tubo em contacto com a argamassa [mm];

t – tempo de ensaio num dado instante [min].

3.6.11 Aderência ao suporte

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado com base na norma EN 1015:12 (CEN, 1999b). Para a execução deste ensaio foi realizado, exclusivamente, um grupo de argamassas assentes em tijolo, nas quais se realizou um recorte com recurso a um tubo com um diâmetro de 50 mm, Figura 3.32 (esq.), durante o estado fresco. As argamassas foram submetidas às condições de cura idênticas às de todos os provetes descritos anteriormente na presente dissertação.

Após se dar o processo de cura procedeu-se à colagem de pastilhas com o mesmo diâmetro do recorte efetuado anteriormente e deixou-se secar durante uma semana.



Figura 3.32 – Ensaio de aderência: recorte da argamassa (esq.) e colagem de pastilhas (dir.)

As pastilhas possuíam um orifício com rosca, onde se viria a enroscar um parafuso para ser realizado o arrancamento. Em seguida, procedeu-se à montagem adaptada de uma peça na máquina universal Zwick/Rowell que serviu de gancho para puxar cada uma das pastilhas, Figura 3.33 (esq.). Com o parafuso enroscado na pastilha a ser arrancada, posicionou-se o tijolo de modo a que a pastilha ficasse alinhada com o gancho, e prendia-se o tijolo com recurso a um alicate, Figura 3.33 (dir.).



Figura 3.33 – Aderência ao suporte: pormenor de gancho e parafuso (esq.) e aspeto geral do ensaio (dir.)

A Zwick foi utilizada aplicando carga com velocidade de 3 mm/min, registrando em simultâneo o gráfico com a força exercida em função do deslocamento aplicado. Assim que se deu a rotura registou-se o valor de força máxima e segundo a equação 3.16 obteve-se a tensão de aderência. Em seguida registou-se o valor do diâmetro da superfície de rotura, com recurso a uma craveira digital, calculando em seguida a área dessa superfície.

$$\sigma_{ader} = \frac{F}{S} [MPa] \quad 3.16$$

Em que:

σ_{ader} – tensão de aderência [MPa];

F – força de cedência [N];

S – área da superfície de rotura [mm²].

4 Apresentação e discussão de resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização de argamassas. Conjuntamente é feita uma análise crítica aos resultados e, estes, comparados com resultados obtidos por outros autores com vista a comparar o desempenho das argamassas obtidas, conforme foi referido em 2.3.2.

4.1 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.1.1 Consistência por espalhamento

A Tabela 4.1 e a Figura 4.1 apresentam os resultados obtidos no ensaio de determinação da consistência por espalhamento.

A substituição de areia rolada com baixa absorção de água por um agregado muito absorvente com um formato predominantemente lamelar, o que condiciona a trabalhabilidade, levou a que fosse necessário, em cada incremento de percentagem de incorporação de pellets, aumentar a relação a/l e a dosagem de superplastificante, mantendo sempre o traço volumétrico.

Tabela 4.1 – Valores de espalhamento

Argamassa	Espalhamento [mm]	DP
Mix 1	187,01	1,18
Mix 2	197,38	0,96
Mix 3	183,40	1,18
Mix 4	188,80	0,99
Mix 5	170,27	1,42

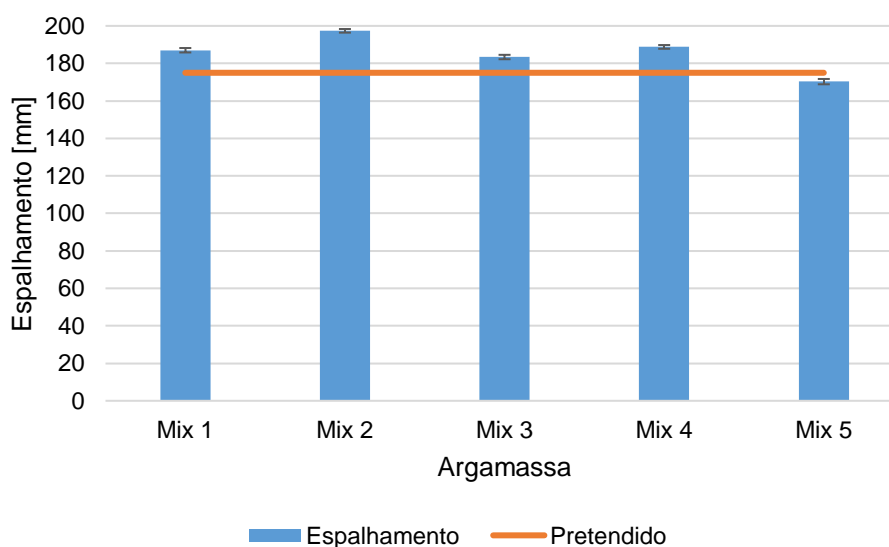


Figura 4.1 – Resultados do ensaio de espalhamento

Os resultados obtidos para o espalhamento estão um pouco acima do valor de 175 ± 10 ml considerado como adequando para argamassas de reboco segundo a norma europeia EN 1015-3 (CEN,

1999c). Contudo, verificou-se que consoante se aumentou a dosagem de pellets, mais rapidamente a argamassa perdia consistência, Brás et al. (2013) verificaram um efeito semelhante, concluindo que a cortiça absorvia água da argamassa nos instantes iniciais, libertando-a mais tarde sem benefícios para a trabalhabilidade. Efeito semelhante poderá ter ocorrido neste caso, dado que os pellets são um material com uma reduzida quantidade de água, uma vez que são sujeitos a um processo de secagem durante o seu fabrico, o que os torna suscetíveis de absorver água.

4.1.2 Massa volúmica aparente em pasta

Os valores da massa volúmica aparente em pasta registados para cada uma das argamassas encontram-se na Tabela 4.2, enquanto a Figura 4.2 apresenta a evolução dos mesmos e ajuda a perceber a tendência de evolução.

Analisando os resultados, nota-se um decréscimo quase linear da massa volúmica aparente em pasta, em relação à mistura de referência. Esse decréscimo era expectável devido ao menor valor de baridade da mistura de pellets em relação à areia.

Durante o processo de manuseamento das argamassas, para a realização do ensaio de determinação de massa volúmica aparente em pasta, verificou-se que com o aumento da percentagem de pellets, a argamassa tinha um aspeto cada vez mais “esponjoso”. Tal facto indicia que o aumento da percentagem de pellets fez aumentar o teor de ar contido na argamassa, e esse facto é corroborado pelos resultados obtidos. Pois, uma argamassa com um maior teor de ar contido terá, em princípio, uma massa volúmica menor.

Tabela 4.2 – Valores da massa volúmica aparente em pasta

Argamassa	Massa volúmica fresca [Kg/m ³]
Mix 1	2177,5
Mix 2	1978,8
Mix 3	1762,1
Mix 4	1712,0
Mix 5	1565,9

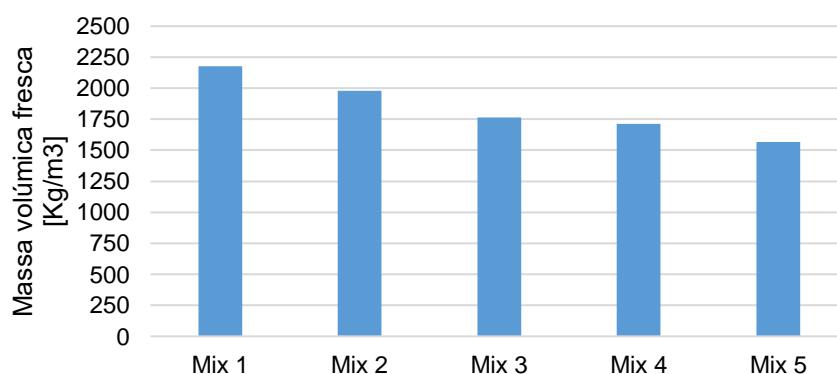


Figura 4.2 – Resultados do ensaio de massa volúmica aparente em pasta

4.2 Caracterização das Argamassas no estado endurecido

4.2.1 Condutibilidade térmica

Os resultados obtidos no ensaio de determinação da condutibilidade térmica são apresentados na Tabela 4.3. A Figura 4.3 ajuda a perceber a tendência de evolução dos resultados, em função do aumento de dosagem de pellets.

Tabela 4.3 – Valores de condutibilidade térmica

Argamassa	λ [W/m. °C]	DP
Mix 1	1,98	0,08
Mix 2	1,37	0,05
Mix 3	1,06	0,05
Mix 4	0,76	0,04
Mix 5	0,65	0,02

A Figura 4.3 indica que há uma tendência de decréscimo do valor da condutibilidade térmica com aumento da percentagem de incorporação de pellets. Este resultado era esperado e, como se pode verificar na Figura 4.3, acompanha a tendência de estudos realizados por outros autores.

Sendo a condutibilidade térmica um dos fatores com maior relevo na avaliação de desempenho de uma argamassa de revestimento, é de assinalar que, para as mesmas percentagens de utilização de pellets (até 40%) as melhorias obtidas foram bastantes satisfatórias.

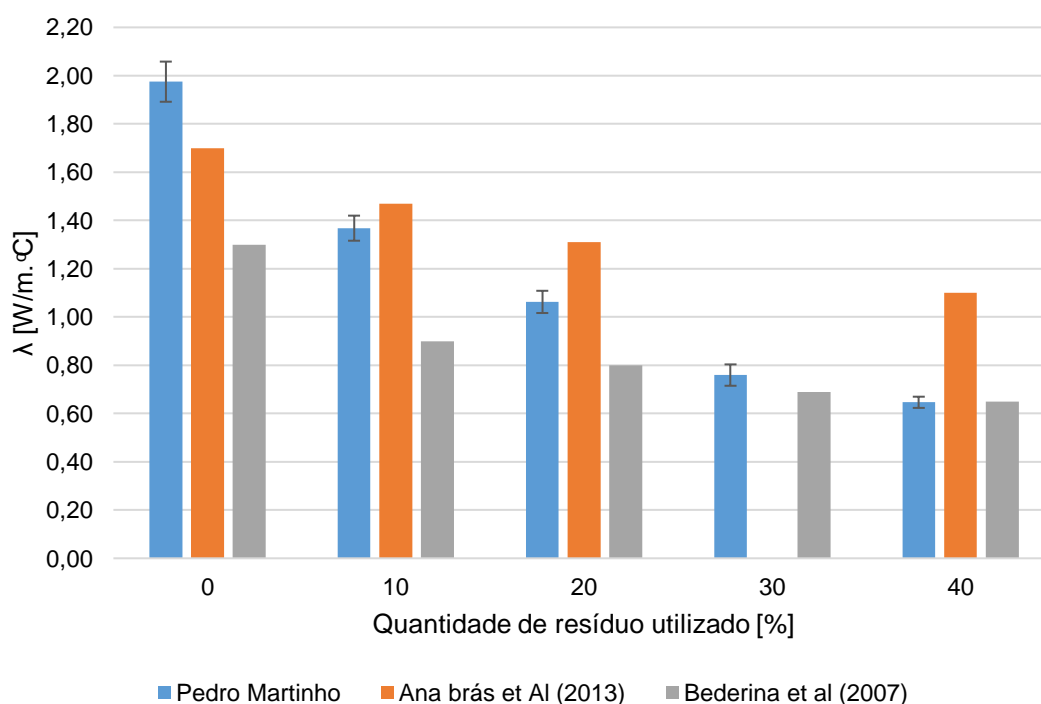


Figura 4.3 – Comparação dos valores de condutibilidade térmica obtida por outros autores

4.2.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Os valores obtidos no ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico e os respectivos desvios padrões encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores do módulo de elasticidade dinâmico

Argamassa	Ed [MPa]	DP
Mix 1	4328,75	120,62
Mix 2	2567,28	653,55
Mix 3	1418,75	54,56
Mix 4	1411,42	62,90
Mix 5	1059,00	157,50

Os resultados demonstram uma tendência de diminuição do módulo de elasticidade dinâmica com o aumento da percentagem de incorporação de pellets. Contudo, os resultados individuais apresentaram alguma discrepância entre si. Isso pode ficar a dever-se à eventual heterogeneidade da microestrutura porosa dos provetes, que condiciona a propagação das ondas, uma vez que a realização deste ensaio depende do caminho percorrido pelas ondas no interior do provete, é compreensível que, para o mesmo provete, se obtenham valores bastante díspares.

No entanto, e como seria expectável, a substituição de areia pela mistura de pellets trouxe vantagens ao nível do módulo de elasticidade devido à reconhecida ductilidade da madeira. Por conseguinte, os módulos de elasticidade dinâmicos das argamassas com maior quantidade de pellets incorporados são mais baixos quando comparados com a argamassa de referência, o que indica que estas argamassas são mais deformáveis, adaptando-se melhor a eventuais deformações que o suporte venha a apresentar.

4.2.3 Resistência à tração por flexão

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores obtidos para a resistência à tração por flexão e os respectivos desvios padrões. A Figura 4.4 apresenta a evolução dos valores obtidos para cada argamassa.

Tabela 4.5 – Valores da resistência à tração por flexão

Argamassa	R _t [MPa]	DP
Mix 1	6,81	0,09
Mix 2	6,46	0,21
Mix 3	4,19	0,13
Mix 4	4,30	0,21
Mix 5	3,62	0,29

Analisando a evolução registada na Figura 4.4 verifica-se uma tendência decrescente da resistência à tração por flexão com a introdução da mistura de pellets, ainda que, com uma variação não é linear, verificando-se um grande decréscimo no valor da resistência entre as argamassas Mix 2 e Mix

3. Sendo até possível verificar que existe um pequeno aumento da resistência na Mix 4, em relação à Mix 3.

Este facto pode ficar a dever-se à forma das partículas de pellets introduzidas, à sua presença/ausência e disposição na zona de cedência do provete. Devido ao facto das partículas de pellets apresentarem formas mais alongadas do que a areia, esse facto poderá influenciar o desempenho das argamassas quando solicitadas à tração (Torres et al., 2016). Tal como foi referido em 4.2.2, a heterogeneidade pode ter tido influência nos resultados obtidos, pois a aleatória distribuição das partículas de madeira aquando da amassadura, cria planos de maior ou menor debilidade no interior dos provetes originando que os resultados apresentem uma variabilidade acima do desejado.

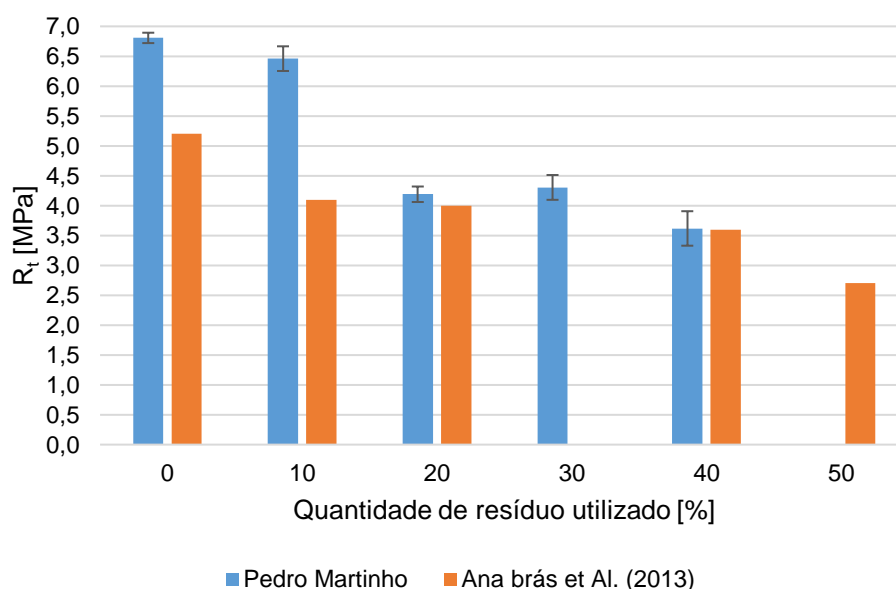


Figura 4.4 – Resultados do ensaio de resistência à tração por flexão

4.2.4 Resistência à compressão

Os resultados e os desvios padrões obtidos na determinação da resistência à compressão encontram-se na Tabela 4.6. A Figura 4.5 apresenta a tendência de evolução dos mesmos.

Tabela 4.6 – Valores da resistência à compressão

Argamassa	R _c [MPa]	DP
Mix 1	46,04	1,64
Mix 2	26,20	0,24
Mix 3	15,82	0,90
Mix 4	12,44	0,37
Mix 5	10,88	0,51

Analisando os valores da Tabela 4.6 e a Figura 4.5 é possível verificar uma tendência para a diminuição da resistência à compressão com o aumento da percentagem de pellets.

Um dos fatores responsáveis por se verificar este decréscimo de resistência tem a ver com o aumento da superfície específica, que aumenta com a sucessiva adição de uma maior percentagem de pellets, requerendo assim uma maior quantidade de água na argamassa, com consequências diretas na resistência da argamassa (Brás et al., 2012). Outro fator responsável pela redução da resistência é o facto de a mistura de pellets ser um agregado com menor capacidade resistente que a areia e, em simultâneo, originar argamassas com um teor em ar mais elevado.

Observando a Figura 4.5 é possível verificar que os resultados obtidos acompanham a tendência verificada por outros autores, sendo que parecem apresentar uma tendência de decréscimo mais acentuada do que a verificada por outros autores.

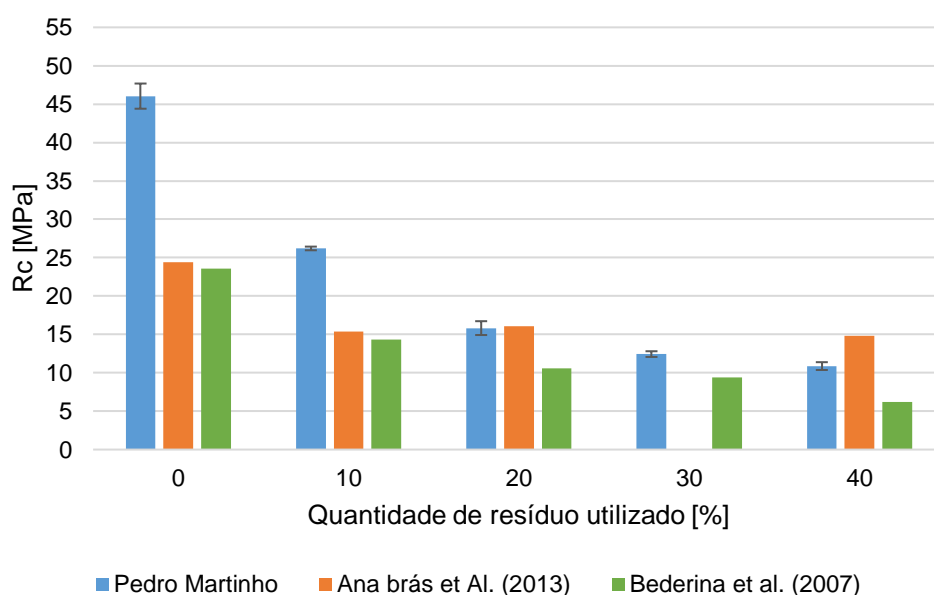


Figura 4.5 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Apesar da presença de pellets nas argamassas provocar uma perda de resistência mecânica à flexão e à compressão é de notar que as argamassas possuem uma resistência à compressão suficiente para serem utilizadas como reboco segundo a norma EN 998-1 (CEN, 2010), inserindo-se na classe de resistência correspondente à categoria CS-4 especificada pela referida norma.

4.2.5 Massa volúmica aparente, massa volúmica real e porosidade aberta

Os resultados e os desvios padrões obtidos para as massas volúmicas aparente e real e para a porosidade aberta encontram-se na Tabela 4.7. A Figura 4.6 apresenta a evolução de cada parâmetro com o incremento da percentagem de pellets.

Tabela 4.7 – Valores da massa volúmica aparente e real e da porosidade aberta

Argamassa	MVA [Kg/m ³]		MVR [Kg/m ³]		PA [%]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Mix 1	2062,76	6,67	2474,44	6,98	16,64	0,21
Mix 2	1792,67	14,49	2223,38	13,84	19,37	0,34
Mix 3	1544,39	19,91	1977,13	18,96	21,89	0,43
Mix 4	1477,39	9,48	2001,72	9,39	26,19	0,24
Mix 5	1363,14	9,39	1905,71	9,57	28,47	0,35

Fazendo uma análise à Tabela 4.7 é possível verificar a diminuição da massa volúmica aparente e da massa volúmica real e o aumento da porosidade aberta com o incremento da dosagem de pellets. A massa volúmica real parece estabilizar na Mix 3, Mix 4 e Mix 5, mas tanto a massa volúmica aparente, como a porosidade aberta, apresentam uma evolução bem definida.

A diminuição da massa volúmica aparente deve-se à menor baridade dos pellets, por comparação com a areia, e também à maior quantidade de vazios que se supõe existir nas argamassas com incorporação de pellets. Este último facto foi relatado anteriormente quando se referiu o efeito esponjoso das argamassas com incorporação de pellets, no estado fresco, que pressupunha que essas argamassas possuiriam uma menor massa volúmica aparente. Os resultados obtidos confirmam os pressupostos assumidos.

Com base nos resultados obtidos assume-se que a incorporação de pellets incrementa a quantidade de vazios nas argamassas, os resultados obtidos para a porosidade aberta indicam que os vazios têm ligação com o exterior, sendo que, essa ligação com o exterior aumenta à medida que se aumenta a quantidade de incorporação de pellets. O facto de o valor da porosidade aberta aumentar pode ser negativo no caso de comportamento das argamassas na presença de água líquida.

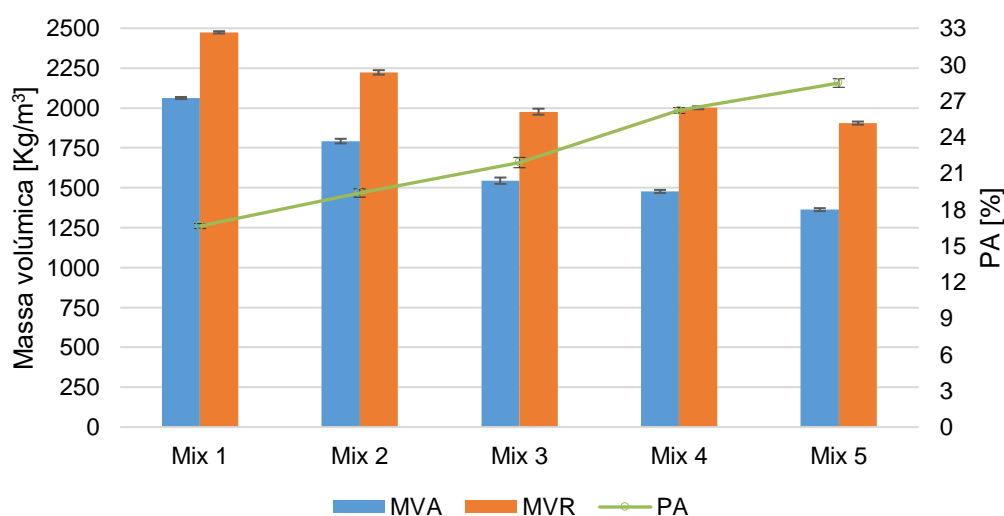


Figura 4.6 – Resultados da massa volúmica aparente seca e real e da porosidade aberta

4.2.6 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 4.7 estão representadas as curvas de absorção de água, apresentadas pela quantidade de água absorvida por unidade de área em função da raiz do tempo, obtidas para cada argamassa.

O objetivo deste ensaio foi determinar o coeficiente de absorção de água por capilaridade, que se traduz como sendo o declive do troço inicial de cada curva. Quanto mais elevado for o declive de cada curva, maior será o coeficiente de capilaridade, ou seja, maior será a rapidez com que uma argamassa absorve água nos instantes iniciais. O ensaio decorreu durante aproximadamente um mês, sem que se verificasse a estabilização da massa dos provetes, isto é, sem que os provetes ficassem saturados. Esse facto não permitiu calcular o valor assintótico.

Dada a dificuldade da diferenciação entre o troço inicial e final de cada curva, adotou-se as primeiras 7 horas do ensaio como sendo o troço inicial e calculou-se o declive de cada uma, Figura 4.8.

Observando a Figura 4.8, é possível verificar que a introdução de pellets não provoca alterações com uma tendência definida. Isso confirma-se com os valores registados Figura 4.9, em que se pode verificar que os coeficientes de absorção de água vão reduzindo, desde a Mix 1 até à Mix 3 e, daí até à Mix 5 voltam a aumentar.

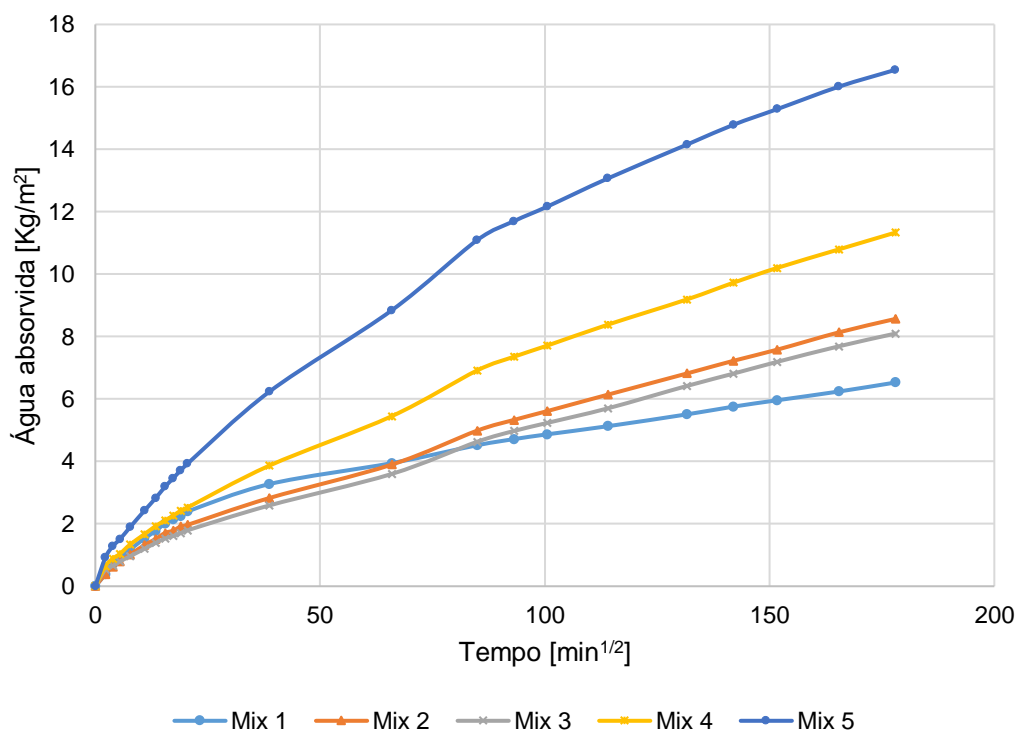


Figura 4.7 – Curvas de absorção de água por capilaridade

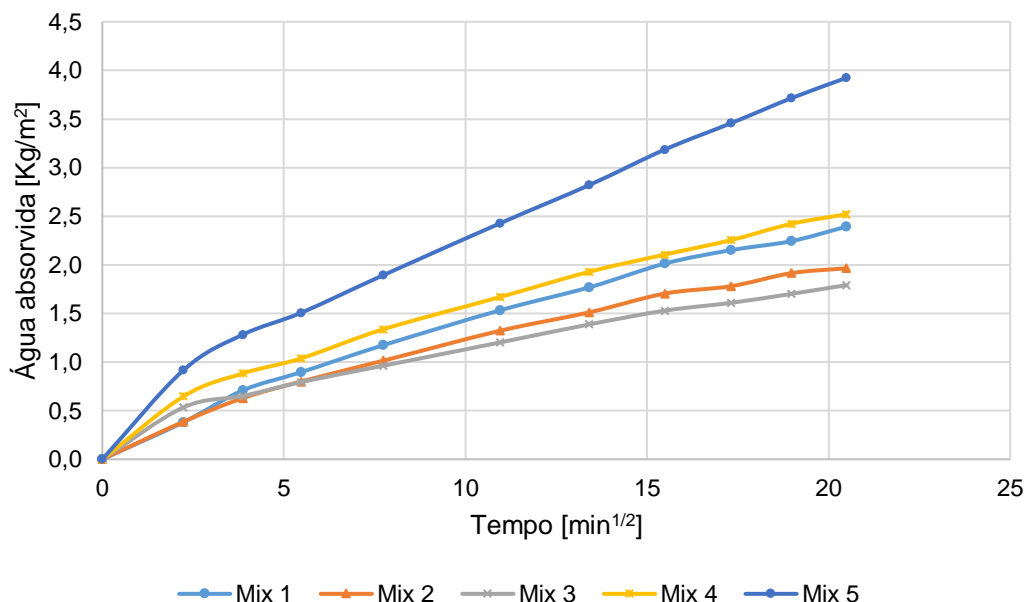


Figura 4.8 – Curvas de absorção de água por capilaridade até à 7ª hora

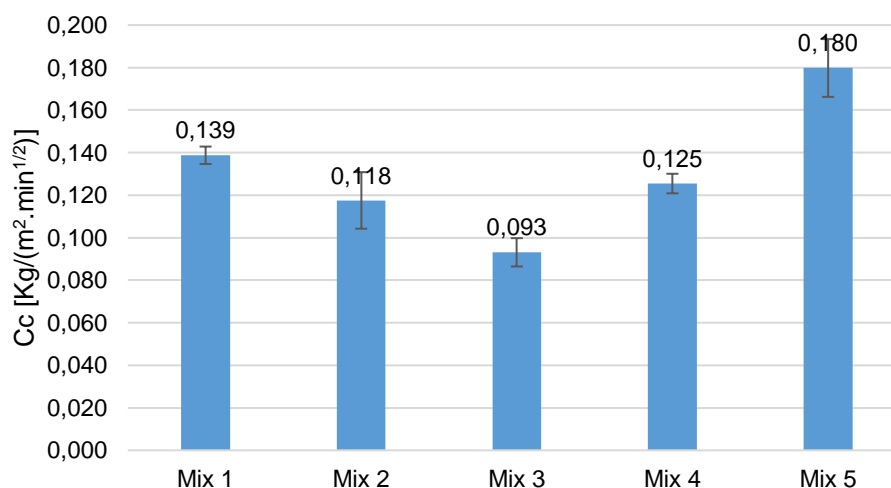


Figura 4.9 – Resultado do coeficiente de absorção de água por capilaridade

Os resultados parecem não confirmar os pressupostos referidos em 4.2.5, em que se referiu que o aumento da porosidade aberta, aliada ao facto de as argamassas com uma maior dosagem de pellets possuírem mais vazios, resultaria num comportamento pior na presença de água líquida. Contudo, Rato (2006) refere que o coeficiente de absorção de água por capilaridade depende de fatores como a conectividade da rede porosa e a dimensão dos poros, sendo que quanto menor for a porometria, maior serão as forças capilares.

Estes resultados foram obtidos em dois estudos, Bouguerra et al. (2002) e Brás et al. (2013), onde se concluiu que a adição de agregados macro porosos reduz a absorção capilar no interior da argamassa. Isso deve-se ao facto de originar vasos capilares de dimensões bastante elevadas, que

acabam por impossibilitar que se originem forças de sucção, reduzindo assim o fluxo de água no interior da argamassa.

A ocorrência de forças de sucção, em função do raio do poro, pode ser explicada pela *equação de Young-Laplace* (Henriques, 2011).

$$\Delta P = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad 4.1$$

Em que:

ΔP – Diferença de pressão capilar;

σ – Tensão superficial do líquido;

Θ - ângulo de contacto;

r – Raio do poro.

Analisando a equação 4.1 é possível compreender que poros com um raio maior originam forças de sucção menores.

Dado que o agregado utilizado no presente estudo é um agregado higroscópico, parte da água absorvida poderá estar a ser absorvida diretamente pelo agregado, contrariando o facto de os poros presentes nos provetes com maior percentagem de pellets serem de dimensões bastante elevadas e, em teoria, levar à redução do coeficiente de absorção de água por capilaridade. Nas argamassas Mix 2 e Mix 3 poderá imperar a porometria, face à higroscopicidade do agregado, reduzindo o coeficiente de absorção de água por capilaridade em relação à argamassa de referência. Nas argamassas Mix 4 e Mix 5 poderá ocorrer o inverso, ou seja, a higroscopicidade do agregado sobrepor-se à porometria e, assim, mesmo tendo em conta a redução das forças de sucção capilar, que se supõem que existirá, no computo geral o coeficiente de absorção de água por capilaridade aumenta devido à quantidade de água que o agregado absorve.

4.2.7 Secagem

Na Figura 4.10 estão representadas as curvas de secagem para todas as argamassas, onde se relaciona o teor em água em cada instante, em função do tempo nesse instante.

A taxa de secagem traduz a rapidez com que as argamassas perdem água, para tal calcula-se o declive do troço inicial da curva de secagem. Através da observação gráfica é possível apreender que todas as argamassas apresentam um comportamento semelhante, o processo de secagem dá-se de uma forma muito constante, pois não se verificaram quedas bruscas do teor de água e os provetes não estabilizaram (com excepção da argamassa de referência - Mix 1), apesar do ensaio ter decorrido durante dois meses.

Os valores da taxa de secagem obtidos para todas as argamassas encontram-se na Figura 4.11. Os resultados parecem indicar a existência da tendência para que o valor da taxa de secagem aumente com o aumento da percentagem de pellets incorporados. Todas as argamassas confirmam essa ten-

dência, excetuando a argamassa Mix 2 cujo valor da taxa de secagem é mais elevado do que a argamassa Mix 3. Contudo, dado que o desvio padrão da argamassa Mix 2 é bastante maior do que o das restantes, pode-se considerar que o valor obtido para a taxa de secagem é pouco exato.

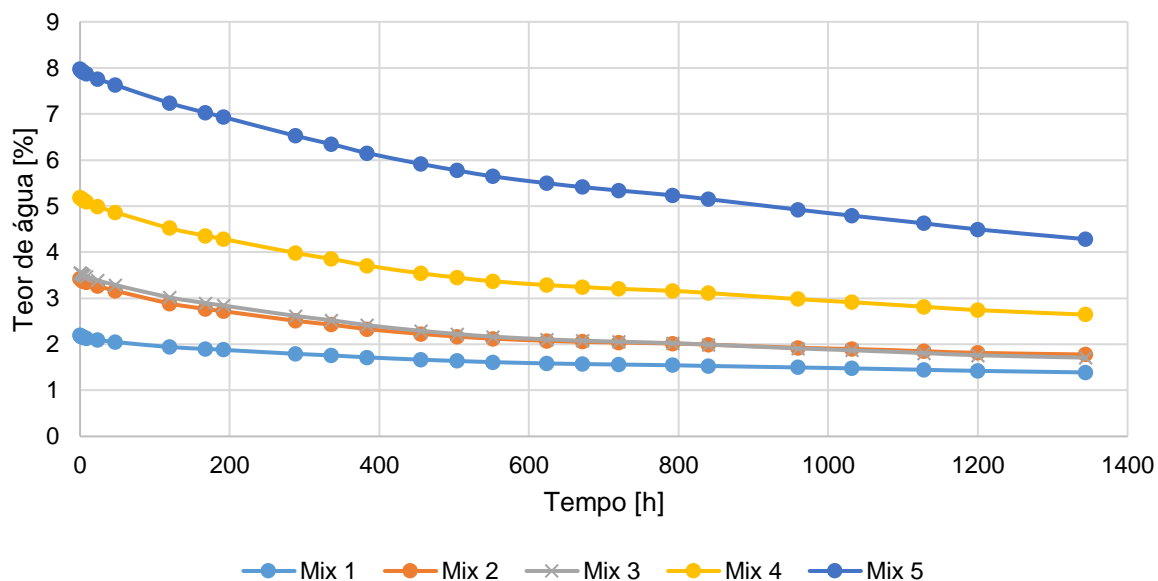


Figura 4.10 – Curvas de secagem

A Figura 4.12 apresenta os valores obtidos para o índice de secagem e a evolução deste valor com o aumento da quantidade de pellets incorporados. O índice de secagem traduz a facilidade que uma argamassa possui em secar, ou seja, quanto mais elevado for o valor do índice de secagem maior será a dificuldade que a argamassa tem para secar.

Analisando a figura é possível concluir que a incorporação de pellets, até 20%, facilita a secagem das argamassas, sendo que a partir dessa percentagem, até 40%, a dificuldade de secagem começa a aumentar. Todas as argamassas com incorporação de pellets apresentam maior facilidade de secagem, em comparação com a argamassa de referência. Este facto compreende-se pelo facto de a incorporação de pellets originar argamassas mais porosas e com uma porometria mais elevada.

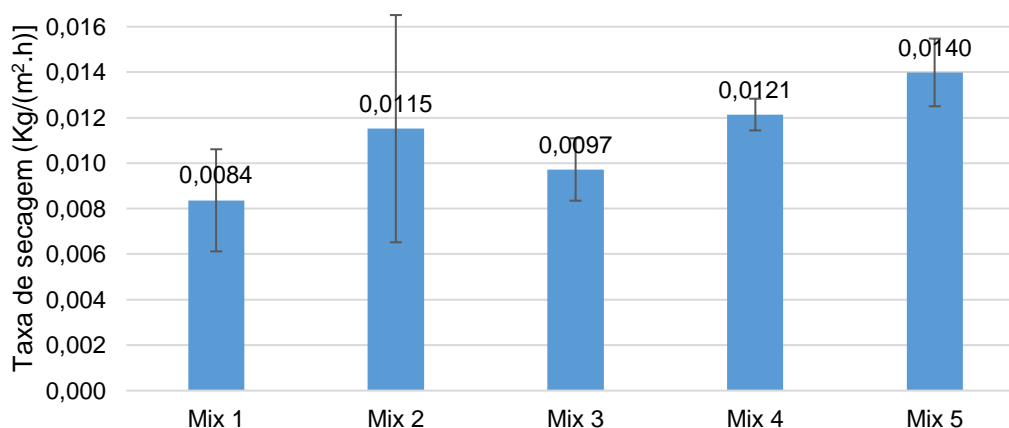


Figura 4.11 – Resultados obtidos para a taxa de secagem

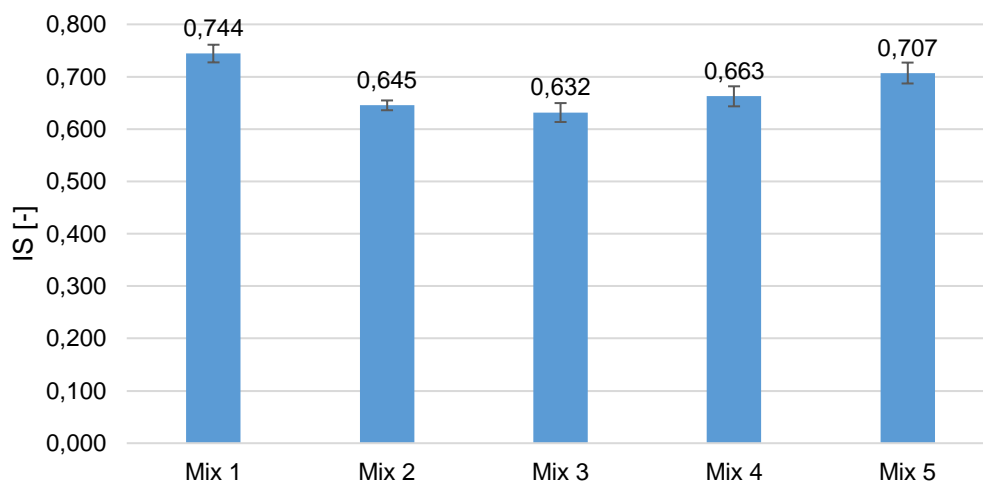


Figura 4.12 – Resultados obtidos para o índice de secagem

4.2.8 Coesão superficial

Os resultados do ensaio de coesão superficial encontram-se na Figura 4.13, onde se pode verificar o valor da perda de massa e aferir a tendência que a introdução de pellets provoca nas argamassas.

Dos resultados obtidos, os valores para a argamassa de referência não são representativos, uma vez que teve uma variação de massa negativa. Sendo que, este resultado permite concluir que a argamassa de referência não apresentava quaisquer problemas em termos de coesão superficial.

Nas argamassas com introdução de pellets a variação de massa foi positiva, ou seja, a fita cola arrancou partículas das argamassas, embora esses valores sejam bastante baixos e não se verificaram sempre, pois elevado valor do desvio padrão confirma que os resultados são pouco precisos. A Figura 4.14 representa um pedaço de fita cola utilizado numa argamassa Mix 5 e, como se pode verificar, as partículas arrancadas são apenas pontos muito singulares.

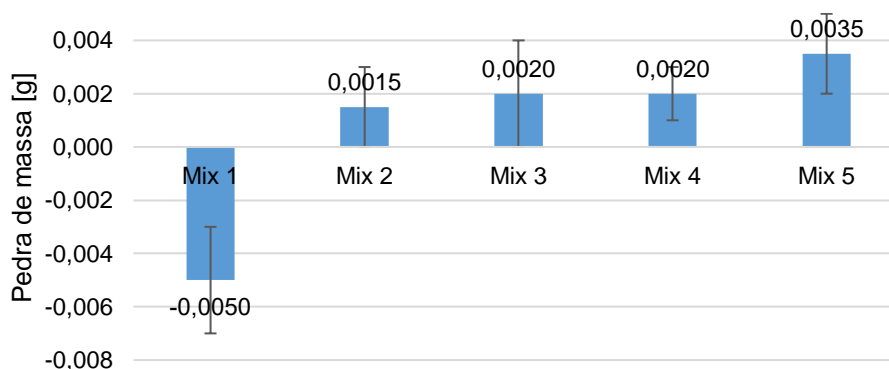


Figura 4.13 – Resultados do ensaio de coesão superficial



Figura 4.14 – Partículas arrancadas de argamassas Mix 5 no ensaio de coesão superficial

4.2.9 Dureza superficial por durómetro Shore A

A Figura 4.15 apresenta os resultados obtidos no ensaio de dureza superficial. Os resultados são bastante precisos e apresentam uma ligeira tendência de aumento da dureza superficial com o incremento da percentagem de pellets utilizada.

A variação verificada contraria um pouco o que seria de esperar, pois argamassas com uma percentagem mais elevada de um agregado mais frágil, em teoria, apresentariam um valor de dureza superficial progressivamente mais reduzido ou, no limite, igual. Contudo, os valores obtidos são bastante próximos, pelo que se conclui que a adição de pellets não provoca uma alteração significativa na dureza superficial das argamassas.

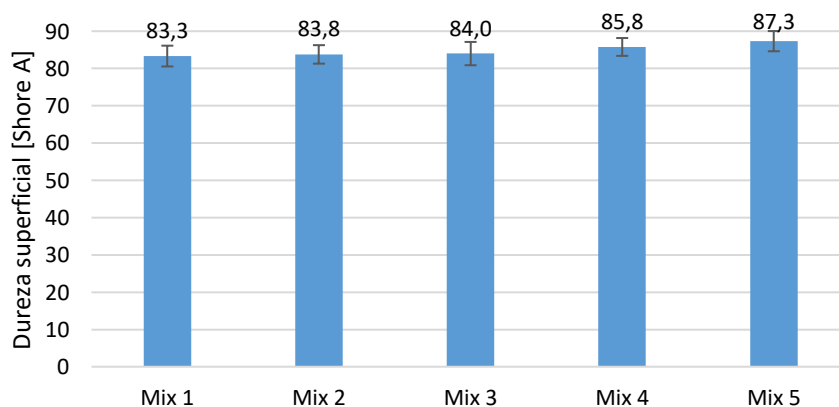


Figura 4.15 – Resultados do ensaio de dureza superficial

4.2.10 Permeabilidade à água líquida sob baixa pressão – tubos de Karsten

A Tabela 4.8 e a Figura 4.16 apresentam os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão. Conforme foi referido em 3.6.10, não possível realizar o ensaio durante 60 minutos para as argamassas Mix 5. Assim, são apresentados valores de coeficiente absorção obtido aos 10 e aos 60 minutos. Os 10 minutos foram o instante mais elevado em que todas as argamassas ainda não tinham absorvido 4 ml de água.

Analisando os valores expressos na tabela é possível concluir que o impacto da substituição da areia pela mistura de pellets é significativo. Também se verifica que a argamassa Mix 5 absorve água muito mais rapidamente que as restantes, o que pode ser explicado com a presença de maior teor de madeira, tal como sucede no ensaio de absorção por capilaridade.

Tabela 4.8 – Valores de coeficiente de absorção do ensaio com tubos de Karsten, para os 10 e 60 minutos

Argamassa	$C^t_{\text{absorção}} [\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})]$			
	10 min	DP	60 min	DP
Mix 1	0,185	0,028	0,255	0,027
Mix 2	0,179	0,043	0,160	0,030
Mix 3	0,479	0,139	0,450	0,149
Mix 4	0,761	0,239	0,665	0,082
Mix 5	2,827	0,000	-	-

A Figura 4.16 permite entender a tendência que a incorporação de pellets provoca no comportamento das argamassas face à presença de água líquida sob baixa pressão. Constatando-se que existe uma diferença mais significativa no comportamento à água líquida para percentagens de substituição de areia maiores de 20% (Mix 3).

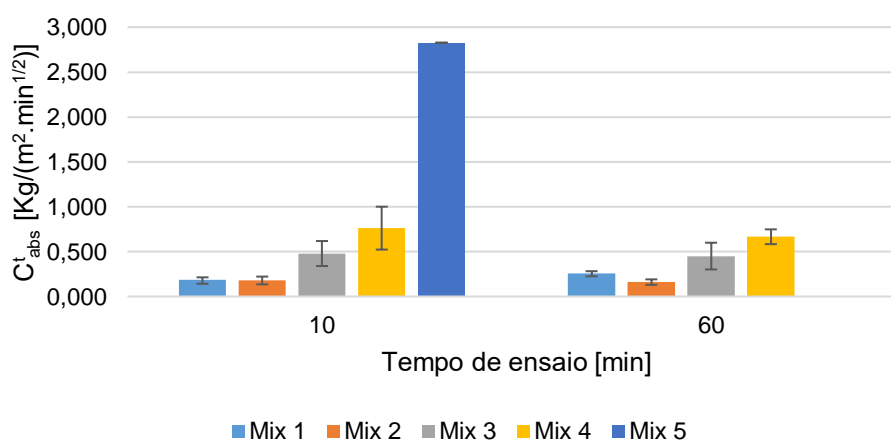


Figura 4.16 – Resultados do ensaio de permeabilidade à água líquida para os 10 e 60 minutos

4.2.11 Aderência

A Tabela 4.9 apresenta os valores obtidos no ensaio de aderência ao suporte e o respetivo tipo de rotura. Os resultados demonstram que entre as argamassas Mix 2, Mix 3 e Mix 4 os valores da tensão de aderência ao suporte são bastante próximos.

Não foi possível quantificar a influência que a incorporação de pellets provoca, em relação à argamassa de referência, uma vez em que todos os ensaios realizados com a argamassa Mix 1 a rotura ocorreu na interface da argamassa com a bolacha colada, Figura 4.17 a). Pelo que, esse facto permite concluir que o valor da tensão de aderência obtido, para a argamassa Mix 1, é um mínimo do valor da tensão de aderência na zona de interface entre argamassa e tijolo.

Na argamassa Mix 5 verificou-se uma queda acentuada da tensão de aderência, em comparação com as restantes argamassas. O tipo de rotura observada na argamassa Mix 5 foi uma rotura coesiva pela argamassa, Figura 4.17 c), ficando parte desta agarrada ao tijolo, significando que o valor da tensão de aderência entre a argamassa e o suporte será superior à resistência da própria argamassa. Contrapondo estes resultados com as resistências à tração, obtidas em 4.2.3, conclui-se que uma maior dosagem de pellets fomenta uma menor coesão da argamassa consequência da sua estrutura porosa.

Tabela 4.9 – Valores da tensão de aderência ao suporte

Argamassa	$\sigma_{\text{ader.}}$ [MPa]	DP	Tipo de rotura
Mix 1	0,545	0,14	Cola
Mix 2	0,450	0,14	Adesiva
Mix 3	0,467	0,08	Adesiva
Mix 4	0,411	0,15	Adesiva/ Coesiva
Mix 5	0,142	0,01	Coesiva

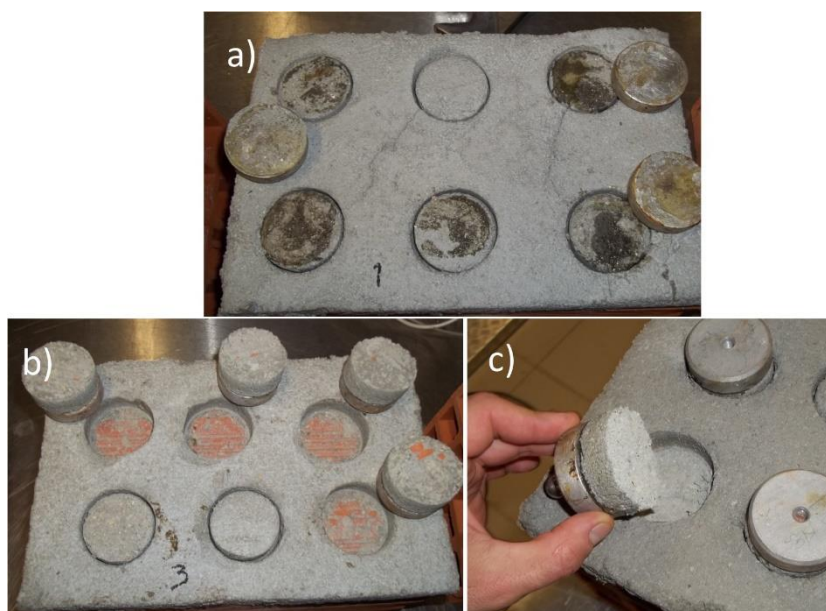


Figura 4.17 – Tipos de rotura do ensaio de aderência: a) rotura pela cola; b) rotura adesiva; c) rotura coesiva

A Figura 4.18, onde estão representados os resultados obtidos neste ensaio, ajuda a perceber a evolução da tensão de aderência ao suporte provocada pela incorporação dos pellets.

De notar que os resultados da tensão de aderência obtidos quando comparados com requisitos de aderência (tensão de aderência entre 0,3 e 0,5 MPa) encontrados no referencial teórico (Flores-Colen, 2009; Veiga, 1998), assim como com os valores de referência fornecidos pelo LNEC (LNEC, 2005) para rebocos cimentícios (tensão de aderência superior a 0,3 MPa), revelam-se bastante aceitáveis, sendo apenas expectável que a argamassa com maior teor de pellets (Mix 5) não cumpra o valor mínimo de 0,3 MPa. .

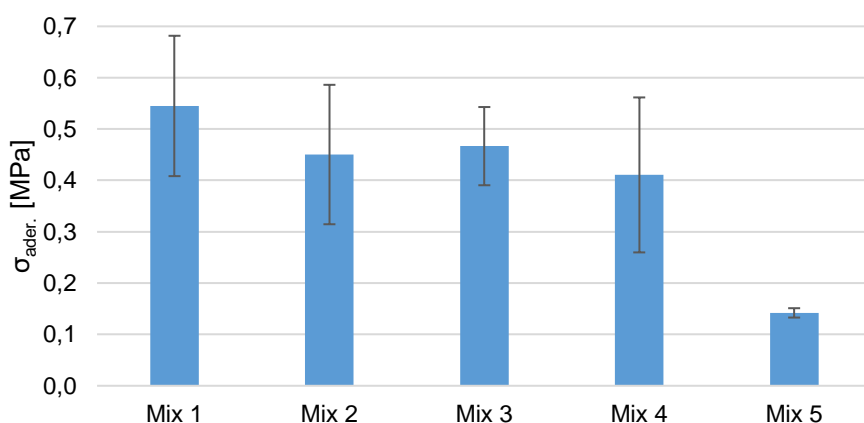


Figura 4.18 – Resultados da tensão de aderência ao suporte

4.3 Síntese global dos resultados obtidos

Concluída a apresentação e discussão de cada ensaio apresenta-se, na Tabela 4.10, o resumo de todos os resultados obtidos.

Tabela 4.10 – Resumo dos resultados obtidos em ensaios de argamassas

Parâmetro de ensaio		Argamassa				
		Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
Estado fresco	Espalhamento [mm]	187,01	197,38	183,40	188,80	170,27
	Massa volúmica aparente [Kg/m³]	2177,5	1978,8	1762,1	1712,0	1565,9
Estado endurecido	λ [W/m.C]	1,98	1,37	1,06	0,76	0,65
	Ed [MPa]	4328,75	2567,28	1418,75	1411,42	1059,00
	R _t [MPa]	6,81	6,46	4,19	4,30	3,62
	R _c [MPa]	46,04	26,20	15,82	12,44	10,88
	MVA [Kg/m³]	2062,76	1792,67	1544,39	1477,39	1363,14
	MVR [Kg/m³]	2474,44	2223,38	1977,13	2001,72	1905,71
	PA [%]	16,64	19,37	21,98	26,19	28,47
	Cc [Kg/(m².min ^{0,5})]	0,139	0,118	0,093	0,125	0,180
	Is [-]	0,744	0,645	0,632	0,663	0,707

Tabela 4.10– Resumo dos resultados obtidos em ensaios de argamassas (continuação)

Parâmetro de ensaio		Argamassa				
		Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
Estado endurecido	Ts [Kg/m ² .h ^{0,5}]	0,0084	0,0115	0,0097	0,0121	0,0140
	Coesão superficial [g]	-0,005	0,0015	0,002	0,002	0,0035
	Dureza superficial [Shore A]	83,3	83,8	84,0	85,8	87,3
	C ^t _{abs} 10 min	0,185	0,179	0,479	0,761	2,827
	[Kg/(m ² .min ^{0,5})] 60 min	0,255	0,160	0,450	0,665	-
	Aderência [MPa]	0,545	0,450	0,467	0,411	0,142
		Cola	Adesiva	Adesiva	Adesiva/ coesiva	Coesiva

Fazendo uma apreciação sumária dos resultados apresentados na Tabela 4.10, designadamente no que concerne aos principais parâmetros no estado endurecido, pode-se afirmar que a massa volumica aparente diminui à medida que se diminui a quantidade areia na argamassa, conseguindo-se uma redução de quase 29% entre a argamassa de referência (Mix 1) e a Mix 5.

Quanto ao ensaio de condutibilidade térmica, os resultados obtidos são muito promissores, com reduções de até 67% no valor da condutibilidade térmica, o que acarreta óbvias vantagens ao nível do comportamento térmico. Relativamente ao desempenho mecânico das argamassas, verificaram-se perdas significativas de resistência mecânica com a introdução dos pellets (em particular a resistência à compressão), no entanto, as formulações estudadas continuam a possuir uma resistência à compressão que cumpre largamente o requisito definido como mínimo para argamassas de reboco segundo norma europeia EN 998-1 (CEN, 2010). Os módulos de elasticidade dinâmicos das argamassas com pellets são mais baixos, quando comparados com a argamassa de referência, o que evidencia uma maior deformabilidade das argamassas.

Relativamente ao comportamento à água destas argamassas, os ensaios realizados permitiram obter conclusões interessantes. Os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade e de absorção a baixa pressão revelaram que com maior percentagem de pellets incorporados a massa de água absorvida tem tendência para aumentar. Por outro lado, no ensaio de secagem, observou-se que nas argamassas com pellets o processo de secagem decorreu de forma ligeiramente mais rápida em relação à argamassa de referência. O que indicia que apesar das argamassas com pellets apresentarem maior capilaridade, estas apresentam uma estrutura porosa que facilita a dinâmica do processo de secagem. Os resultados obtidos no ensaio de coesão e de dureza superficial revelaram que não existem diferenças significativas com a substituição da areia pelos pellets moídos

5 Conclusões e desenvolvimentos futuros

No presente capítulo, de forma a justificar os resultados obtidos, efetua-se uma análise correlativa entre os vários resultados obtidos. São apresentadas as considerações finais sobre a investigação realizada, onde se faz uma avaliação global de todos os aspetos abordados. São ainda apresentadas sugestões consideradas importantes para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

5.1 Conclusões gerais

Os objetivos propostos para a presente dissertação foram contribuir para um maior conhecimento da comunidade científica e da indústria sobre argamassas de cimento com incorporação de wood pellets e o efeito da utilização destes no desempenho de argamassas. Para avaliar o desempenho das argamassas foram realizados ensaios físico e mecânicos, comparando-os entre si e, também, com outros estudos sobre argamassas com incorporação de outros resíduos como agregado.

5.1.1 Parâmetros mecânicos e porosidade

Na Figura 5.1 apresenta-se a evolução das resistências à tração e compressão e do respetivo módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas estudadas. Analisando a figura, observa-se que todos os parâmetros reduzem em termos de valor.

Fazendo uma análise da evolução da resistência à compressão, em termos de grandeza, é possível observar que a esta decresce de uma forma bastante acentuada, quando comparada com a resistência à tração. Entre a argamassa de referência, Mix1, e a argamassa com maior percentagem de pellets incorporados, Mix 5, o valor da resistência à compressão reduziu aproximadamente 75%. Efetuando a mesma análise para a resistência à tração, obtêm-se uma diminuição na ordem dos 45%. Resultado semelhante foi experienciado por Corinaldesi et al. (2016), que observou a diminuição de ambas as resistências, mas verificou o aumento do quociente R_t/R_c com o aumento da quantidade de resíduos de madeira incorporados, ou seja, a resistência à compressão reduziu em maior escala do que a resistência à tração. Nesse estudo é referido que a estrutura fibrosa da madeira pode contribuir para uma melhoria relativa do comportamento das argamassas, quando sujeitas a forças de tração. Conclusão semelhante pode ser retirada da presente dissertação, pois verificou-se uma quebra muito menor nos valores de resistência à tração, em comparação com os valores de resistência à compressão. Um valor mais elevado do quociente R_t/R_c significa um comportamento mais dúctil da argamassa, permitindo otimizar a resistência às tensões criadas, principalmente pela retração restringida, sem transmitir esforços tão elevados ao suporte e, assim, melhorar o comportamento à fendilhação (Faria, 2004).

Analisando os resultados obtidos, para o módulo de elasticidade dinâmico, verifica-se que houve uma dispersão em termos de resultados individuais. Como já foi referido 4.2.2, o valor calculado para o módulo de elasticidade dinâmico é bastante afetado pela heterogeneidade das argamassas, o que dificultou a obtenção de alguns valores, sendo por vezes necessário repetir o ensaio.

Ainda assim, é possível verificar um decréscimo bastante semelhante, em termos de grandeza, ao registado no caso da resistência à compressão. O módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas variam, regra geral, com proporcionalidade direta. No caso das argamassas estudadas a presente dissertação verificou-se uma redução do módulo de elasticidade dinâmico com o aumento da percentagem de pellets incorporados. Quanto menor for o módulo de elasticidade dinâmico, mais deformável, será a argamassa. O facto de argamassa ser mais deformável é aceite, e justificado, pelo resultado obtido no ensaio de resistência à tração, onde se verificou que a adição de pellets, devido à sua estrutura fibrosa, contribuir para que a resistência à tração não diminua de um modo tão acentuado como a resistência à compressão.

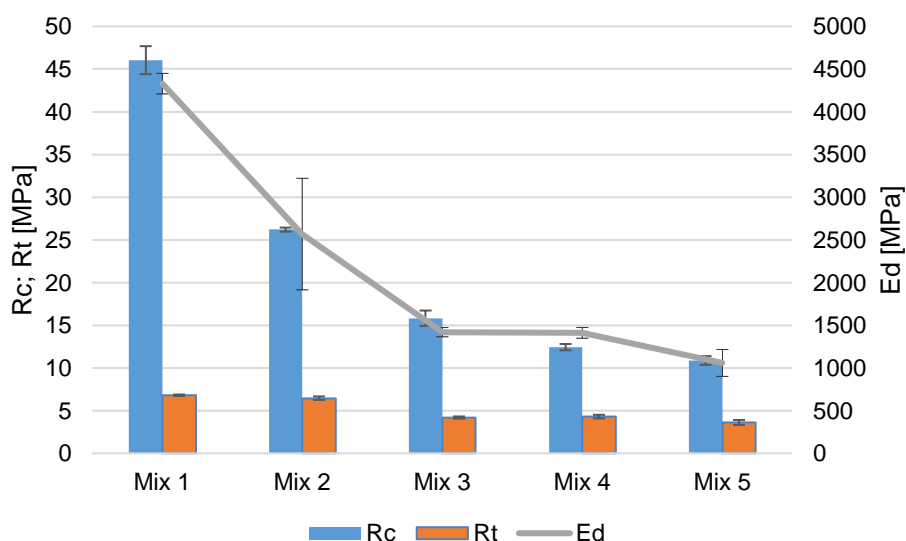


Figura 5.1 – Comparação entre R_t e R_c com E_d

A Figura 5.2 compara a tendência de evolução apresentada pela resistência à compressão com a massa volúmica aparente. Analisando os resultados verifica-se que as duas grandezas decrescem com o aumento da quantidade pellets incorporados. Os resultados verificados corroboram outros autores, verificando-se que quanto menor for a massa volúmica aparente, menores serão as resistências e maior será a porosidade aberta – resultado verificado em 3.6.5 – (Barra, 2011; Machado, 2014; Piteira, 2015). O aumento da porosidade aberta é, em parte, devido à quantidade de água mais elevada que foi sendo utilizada, acompanhando o aumento da quantidade de pellets incorporados. A água de amassadura em excesso vai evaporar no processo de cura e, assim, originar uma quantidade de vazios mais elevada (Barra, 2011; Cunha et al., 2014)

Comparando a Figura 5.1 com a Figura 5.2 é possível observar que o módulo de elasticidade dinâmico e a massa volúmica aparente apresentam a mesma tendência. Esse facto corrobora estudos anteriormente realizados, nomeadamente (Barra, 2011; Frade et al., 2012; Piteira, 2015), onde se verificou que quanto menor for a massa volúmica, menor será o módulo de elasticidade dinâmico.

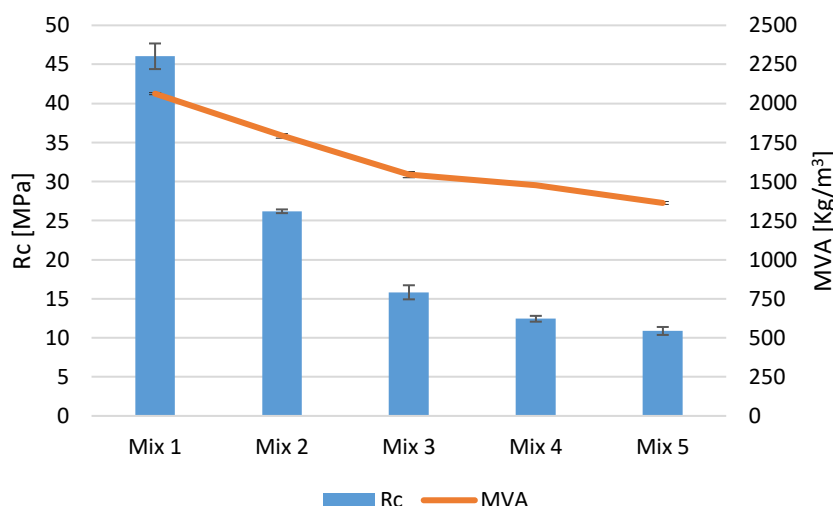


Figura 5.2 – Comparação entre R_c e MVA

O ensaio de aderência ao suporte permitiu confirmar que a incorporação de pellets leva à redução da capacidade aderência ao suporte. Verificou-se que a resistência à tração e a aderência ao suporte são duas características que se relacionam, na medida em que variam de forma diretamente proporcional.

A adição de pellets leva ao aumento da superfície específica, tendo como consequência a existência de menor quantidade de ligante disponível para garantir a aderência ao suporte. Esse facto leva a que a aderência ao suporte reduza com o aumento da quantidade de pellets incorporados.

5.1.2 Comportamento térmico

Na presente dissertação o estudo do comportamento térmico foi realizado através da determinação da condutibilidade térmica das argamassas com várias percentagens de pellets incorporados. Apresentada em 4.2.1, na observa-se que a adição de pellets em argamassas de cimento provoca uma diminuição gradual do valor da condutibilidade térmica. Esse efeito é semelhante ao obtido por outros autores que estudaram as características de argamassas com incorporação de resíduos. Os resultados obtidos eram expectáveis, uma vez que a adição de pellets levou ao aumento da porosidade aberta, aumentando a quantidade de vazios no interior das argamassas e provocando uma diminuição da sua massa volúmica aparente. Na Figura 5.3, é possível constatar que a condutibilidade térmica e a massa volúmica aparente apresentam uma tendência bastante semelhante de decréscimo.

O ITE 50 do LNEC (Santos & Matias, 2006) corrobora os resultados obtidos, uma vez que, para argamassas não tradicionais, os valores de condutibilidade térmica decrescem com a massa volúmica aparente. Não se considera relevante fazer uma comparação quantitativa, dado que as argamassas utilizadas na presente dissertação possuem um traço demasiado forte. Contudo, fazendo uma análise qualitativa, observa-se que houve uma redução assinalável no valor da condutibilidade térmica, pelo que são expectáveis ganhos térmicos bastantes vantajosos decorrentes da utilização destas argamassas na envolvente exterior dos edifícios.

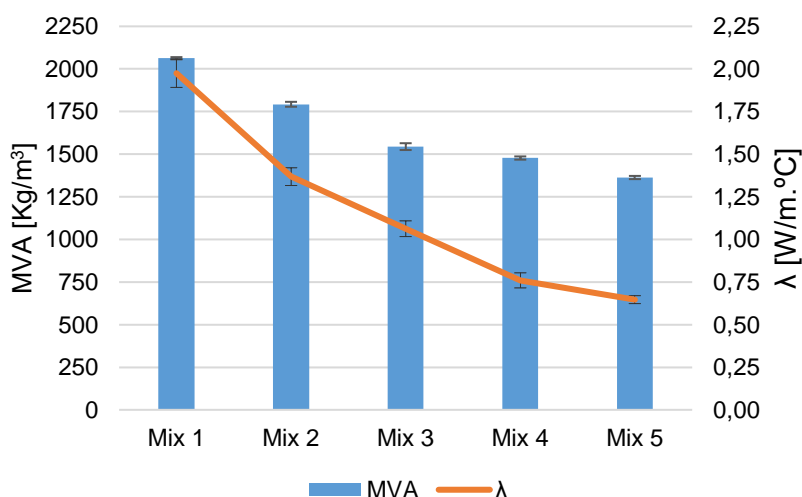


Figura 5.3 – Comparação entre MVA e λ

5.1.3 Comportamento face à água

A avaliação do desempenho das argamassas face à água foi efetuada através de ensaios de absorção de água por capilaridade, secagem e permeabilidade à água líquida sob baixa pressão.

Os valores obtidos de taxa de secagem apresentam uma evolução gradual, no sentido de aumentarem com a incorporação de pellets. Significa que, quanto maior a quantidade de pellets, mais será a rapidez de secagem nos instantes iniciais. Quanto ao índice de secagem, que traduz a dificuldade de secagem de uma argamassa, este não apresenta uma evolução gradual. Foi possível observar que a argamassa de referência apresenta o valor do índice de secagem mais elevado, logo é a que apresenta mais dificuldade em secar. Este resultado significa que as argamassas com pellets melhoram a sua capacidade de secagem, em relação à argamassa de referência. O aumento da porosidade aberta terá certamente peso nos resultados obtidos, pois uma argamassa com maior porosidade possui mais caminhos para que se dê o fluxo de vapor de água.

Por fim, o ensaio de permeabilidade à água líquida sob baixa pressão relevou que a adição de pellets leva ao aumento da absorção de água líquida. O coeficiente de absorção de água revelou-se especialmente elevado na argamassa com maior percentagem de ligante, Mix 5, tendo nas restantes um aumento gradual. Era esperado que se verificasse o aumento do coeficiente de absorção de água líquida, dado o aumento verificado da porosidade aberta.

É possível afirmar que, com base nos resultados obtidos, as argamassas estudadas são passíveis de ser aplicadas no interior de habitações, pois as argamassas com pellets incorporados demonstraram uma boa capacidade em reter água no seu interior, devido à natureza higroscópica do agregado. Assim, conclui-se que estas possuem capacidade de aguentar as variações de humidade relativa no interior de uma habitação, podendo, assim, funcionar como um amortecedor higrotérmico (inércia higroscópica). No caso de serem aplicadas no exterior, devido à exposição mais frequente e intensa à água, os resultados não permitem garantir a total aptidão das argamassas a resistir a esses ciclos a longo prazo. Carecendo, assim, de mais informação e desenvolvimentos futuros.

5.1.4 Evolução das características das argamassas

De modo a assinalar a evolução das características das argamassas à medida que se incrementa a percentagem de pellets incorporados, apresenta-se a Tabela 5.1. O objetivo é sintetizar o sentido de evolução verificado em cada parâmetro ensaiado. A tabela apresenta na coluna “Evolução”, o sentido de evolução de cada parâmetro, em termos quantitativos, e na coluna “Efeito” apresenta o sentido de evolução, em termos qualitativos.

Tabela 5.1 – Evolução dos resultados provocada pela incorporação de pellets

Parâmetro de ensaio	Evolução	Efeito
λ [W/m.C]	<	+
E_d [MPa]	<	+
R_t [MPa]	<	-
R_c [MPa]	<	-
MVR [Kg/m ³]	<	±
MVA [Kg/m ³]	<	+
PA [%]	>	±
C_c [Kg/(m ² .min ^{0.5})]	< >	±
Is [-]	< >	±
T_s [Kg/m ² .h ^{0.5}]	>	+
C_{abs}^t [Kg/(m ² .min ^{0.5})]	>	-
Coesão superficial	=	=
Dureza superficial	=	=
Aderência [MPa]	<	-

Em que:

- (<) - redução;
- (>) - aumento;
- (=) - sem efeito;
- (+) - positivo;
- (-) - negativo;
- (±) – depende

No que diz respeito ao desempenho térmico, considera-se que a diminuição da condutibilidade térmica representa um efeito benéfico no desempenho de uma argamassa de revestimento.

Em termos de resistências mecânicas, tanto na resistência à tração, como na resistência à compressão, verifica-se uma diminuição do seu valor. Em argamassas de revestimento, as resistências mecânicas não são um fator muito importante, mas a sua diminuição não deixa de representar um efeito negativo. No caso do módulo de elasticidade dinâmico verifica-se que houve uma diminuição do

seu valor, considerando-se que isso representa um efeito positivo considerando que se trata de uma argamassa de revestimento.

Em termos de massas volúmicas, a diminuição da massa volúmica real não apresenta propriamente um efeito com tendência definida, dado que se considera este parâmetro pouco relevante quando comparado com a massa volúmica aparente ou com a porosidade aberta. A massa volúmica aparente apresenta também uma diminuição, sendo considerado efeito positivo. Apesar de se saber que a redução da massa volúmica aparente se dá, em parte, à custa da existência de uma porosidade mais elevada, cujo efeito será debatido mais à frente, considera-se que isso representa um efeito positivo na medida em que reduz o peso próprio da argamassa e, conseqüentemente, da solução construtiva em que esta venha a ser aplicada.

Em termos de porosidade aberta, o seu aumento representa um efeito que se considera relativo, pois, como se verificou, o aumento da porosidade aberta contribuiu para o aumento da absorção de água por capilaridade e da permeabilidade à água líquida sob baixa pressão, valores que se pretendem que sejam os mais baixos possíveis, e para o aumento da taxa de secagem, parâmetro que se pretende que seja o mais elevado possível.

Na análise da evolução do coeficiente de absorção de água por capilaridade verificou-se que este parâmetro começa por diminuir, para depois começar a aumentar. O aumento da absorção de água por capilaridade é um efeito negativo e, analogamente, a sua diminuição representa um benefício para o desempenho da argamassa. Considera-se que este parâmetro carece de uma investigação mais pormenorizada, pois como já foi referido anteriormente, é afetado pela porosidade da argamassa e pela natureza do agregado introduzido. Os resultados obtidos permitem concluir que, apesar de a incorporação de pellets levar ao aumento da absorção de água por capilaridade, este parâmetro continua a ser reduzido, pois durante a realização do ensaio nenhum dos provetes atingiu a saturação.

Em termos de secagem verificou-se que o valor da taxa de secagem aumentou, o que significa que a incorporação de pellets aumenta a velocidade de secagem nos instantes iniciais. O resultado observado é considerado positivo, pois o mais desejável é que a água saia o mais rapidamente possível da argamassa. O índice de secagem, que traduz a dificuldade de secagem de cada argamassa, apresentou uma diminuição, seguida de um aumento. O desejável seria que apresentasse uma diminuição em todas as argamassas, significando que as argamassas possuíam maior facilidade de secagem. Pensa-se que a variação verifica tenha a ver com a higroscopicidade do agregado introduzido, sendo, no entanto, aconselhável a realização de ensaios adicionais, de modo a compreender melhor os resultados obtidos.

O ensaio realizado na presença de água líquida visou simular uma situação de chuva extrema. Os resultados mostraram que a incorporação de pellets provocou um aumento de água absorvida, tal como seria expectável dado o aumento da porosidade aberta. Esse facto constitui um efeito negativo.

A dureza e a coesão superficial não se revelaram afetadas pela incorporação de pellets.

A aderência ao suporte diminui aos longo das varias argamassas, sendo considerado um efeito negativo. Apesar da diminuição da aderência ao suporte verificada, os valores registados encontram-se acima dos obtidos por outros autores, pelo que não se considera que essa perda de aderência inviabilize a utilização das argamassas em revestimento de paredes.

5.2 Considerações finais

O principal objetivo da presente dissertação foi avaliar o comportamento de argamassas de cimento com incorporação de pellets, no sentido de validar a viabilidade da utilização dos pellets como agregado. Existem estudos realizados, no sentido de estudar a incorporação de resíduos em argamassas, em substituição de agregado e/ou de ligante. A presente dissertação surge no âmbito de reduzir o consumo de matérias primas, neste caso a areia, e aproveitar resíduos de outras indústrias.

Os pellets são um produto ecológico, proveniente de resíduos de madeira sujeitos a um processo de moagem e secagem, antes de adquirirem a forma final. De modo a ser possível a sua incorporação em argamassas, foi necessário proceder a um processo de moagem. Após esse processo formularam-se argamassas com várias percentagens de pellets incorporados que permitissem a realização dos ensaios planeados. Foram realizados os ensaios e obtidos os resultados já descritos e comentados anteriormente.

Após todo o trabalho realizado foi possível obter algumas conclusões. Começando pelo início do processo, a moagem dos pellets, é óbvio que o facto de os pellets na sua forma original não puderem ser utilizados como agregados para argamassas constitui um ponto negativo, pois implica que seja gasta energia a moer os pellets. Este facto vai contra a intenção de reduzir o consumo de matérias primas, pelo que, uma solução seria utilizar os resíduos de madeira secos, com a granulometria que possuem antes de serem sujeitos ao processo de peletização.

Passando para o processo de elaboração das argamassas, o traço volumétrico utilizado (1:0,96) é um traço demasiado forte para uma argamassa de revestimento. Contudo, dado se estar a trabalhar com um agregado novo, em termos de experiências anteriores, o facto de o traço ser muito forte foi relativizado.

Os resultados obtidos foram ao encontro do que seria expectável, de uma forma geral, e acompanharam também os resultados obtidos, em termos qualitativos, por outros autores. Assim, considera-se que poderá ser viável a utilização de pellets como agregado em substituição da areia, sendo necessário desenvolver muitos estudos posteriores que serão apontados em 5.3.

Corroborando a ideia, de que a utilização de pellets em argamassas constitui uma solução com potencial e aceitação por parte da indústria, está o facto de a mesma ter sido aceite no espaço do conhecimento do *Green Business Week 2017*, estando exposto um póster, Figura A.1, contendo um pequeno resumo da investigação realizada na presente dissertação.

Em suma, considera-se que foram atingidos os objetivos que foram propostos no início da presente dissertação, abrindo desta forma caminho a uma série de investigações em torno de um novo agregado.

5.3 Desenvolvimentos futuros

Ao longo desta investigação foram sendo detetadas algumas carências em termos de informação disponível acerca das argamassas estudadas. Essas falhas passam, essencialmente, por ensaios que

não foram realizados e que se considera serem importantes para aumentar o conhecimento sobre argamassas com incorporação de pellets. Assim, apresenta-se em seguida um conjunto de propostas para desenvolvimentos futuros:

- Realização de estudos com diferentes granulometrias de pellets, com o objetivo de otimizar a granulometria da mistura de pellets e o traço ligante:agregado;
- Caracterizar a porometria de argamassas com incorporação de pellets;
- Estudar a retenção de água por parte das partículas de pellets, de forma a compreender a influência destas no desempenho das argamassas, na presença de água;
- Realizar ensaios de permeabilidade ao vapor de água;
- Estudar a retração em argamassas com pellets incorporados;
- Avaliar o comportamento acústico das argamassas, devido às exigências cada vez mais elevadas impostas pelos regulamentos;
- Introdução de um hidrófugo de massa, de modo a aferir a redução de capilaridade das argamassas com pellets incorporados;
- Aplicação de um tratamento hidrofugante à mistura de pellets, de forma a reduzir a quantidade de água necessária no processo de amassadura;
- Realizar ensaios de desgaste à abrasão;
- Submeter argamassas, com incorporação de pellets, a processo de envelhecimento acelerado, nomeadamente através de ensaios de resistência à cristalização de sais e a ciclos de gelo-degelo;
- Avaliar a influência do envelhecimento acelerado na aderência da argamassa;
- Estudar a variação dimensional em argamassas expostas a diferentes condições higro-térmicas;
- Avaliar a viabilidade da incorporação de pellets, na sua granulometria original, em betões leves;
- Avaliar a resistência à proliferação de microorganismos nestas argamassas;
- Aplicação das argamassas em muretes que recriem condições reais de serviço.

Referências bibliográficas

- Abbotsford Today. (2013). The Other Side Of The Real Estate Story – Abbotsford Today. Obtido 23 de Março de 2017, de <http://www.abbotsfordtoday.ca/the-other-side-of-the-real-estate-story/>
- Areipor. (2014a). Declaração de desempenho - N°10/2013, APAS 20.
- Areipor. (2014b). Declaração de desempenho - N°5/2013, APAS 30.
- Areipor. (2014c). Declaração de desempenho - N°6/2013, APAS 12.
- AREIPOR Areias Portuguesas. (2017). Obtido 28 de Fevereiro de 2017, de <http://www.areipor.pt/pt/apresentacao.html>
- ASTM Standards. (2000). *ASTM D2240 - Standard test method for rubber property - durometer hardness*. United States, ASTM.
- Baltazar, L. G., Henriques, F., Jorne, F., & Cidade, M. T. (2013). The use of rheology in the study of the composition effects on the fresh behaviour of hydraulic lime grouts for injection of masonry walls. *Rheologica Acta*, 52(2), 127–138. <https://doi.org/10.1007/s00397-013-0674-x>
- Barra, A. (2011). *Caracterização física e mecânica de argamassas não estruturais , com agregados finos reciclados*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Bederina, M., Laidoudi, B., Goullieux, A., Khenfer, M. M., Bali, A., & Quéneudec, M. (2009). Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1311–1315. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.029>
- Bederina, M., Marmoret, L., Mezreb, K., Khenfer, M. M., Bali, A., & Quéneudec, M. (2007). Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials*, 21(3), 662–668. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.008>
- Blok, K. (2006). Renewable energy policies in the European Union. *Energy Policy*, 34(3), 251–255. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.032>
- Botas, S. (2009). *Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Bouguerra, A., Amiri, O., Ait-Mokhtar, A., & Diop, M. B. (2002). Water sorptivity and pore structure of wood-cementitious composites. *Magazine of Concrete Research*, 54(2), 103–112. <https://doi.org/10.1680/mac.2002.54.2.103>
- Braga, M. (2010). *Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão - Efeito de filler e pozolânico*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Brás, A., Leal, M., & Faria, P. (2012). Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. Em *2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono*. Lisboa.
- Brás, A., Leal, M., & Faria, P. (2013). Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance. *Construction and Building Materials*, 49, 315–327. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006>
- Cardoso, T. (2015). *Influência da exsudação e da perda de água nas propriedades reológicas de grouts*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

- CEN. (1998). *EN 1015-6:1998 - Methods of test for mortar for masonry. Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (1999a). *EN 1015-11:1999 - Methods of test for mortar for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (1999b). *EN 1015-12:1999 - Methods of test for mortar for masonry Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. Brusseles, CEN.
- CEN. (1999c). *EN 1015-3:1999 - Methods of test for mortar for masonry. Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels, CEN.
- CEN. (2002). *EN 1015-18:2002 - Methods of test for mortar for masonry. Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (2010). *EN 998-1:2010 - Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar*. Brussels, CEN.
- CEN. (2013). *EN 16322:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties*. Brussels, CEN.
- CIMPOR. (2016). CIMPOR - Produção cimento. Obtido 23 de Março de 2017, de http://www.cimpor.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=29&name=Producao--cimento
- Ciolkosz, D. (2009). Manufacturing Fuel Pellets from Biomass. *Renewable and alternative energy Fact Sheet* -, 1–4. Obtido de http://extension.psu.edu/publications/uc203/extension_publication_file
- Collins, R. J., & Ciesielski, S. K. (1994). *Recycling and use of waste materials and by-products in highway construction*. Nat'L Academy Press.
- Corinaldesi, V., Mazzoli, A., & Siddique, R. (2016). Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. *Construction and Building Materials*, 123, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.011>
- Coutinho, A. S. (1997). *Fabrico e propriedades do betão* (Volume I.). Lisboa: LNEC.
- Coutinho, J. (2002). *Ciência de Materiais - 1ª Parte: Agregados Para Argamassas E Betões*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Cunha, A. I. (2013). *Estudo da possibilidade de utilização de resíduos em materiais cimentícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Cunha, S., Aguiar, J., Ferreira, V., & Tadeu, A. (2014). Caraterização mecânica e durabilidade de argamassas térmicas. *Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento - Argamassas 2014*, 1–12.
- Dias, I. M. (2013). *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Ecoforest. (2016). Pellets processo de fabrico. Obtido 20 de Fevereiro de 2017, de <http://www.ecoforestpellets.com/pellets-processo-fabrico/>
- Ericsson, K. (2007). Co-firing-A strategy for bioenergy in Poland? *Energy*, 32(10), 1838–1847. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.03.011>
- Faria, P. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas - Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Dissertação de Douturamento em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Faria, P. (2010). Argamassas sustentáveis. Em *2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono* (pp. 1–12).

- FCT/UNL. (1996a). *Análise de argamassas. Preparação de provetes*. Fichas de Ensaio: Fe 19. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1996b). *Inertes para argamassas e betões. Determinação da baridade*. Fichas de Ensaio: Fe 15. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- FCT/UNL. (1999). *Análise de argamassas. Determinação da resistência à flexão e compressão*. Ficha de ensaio: Fe 27. Caparica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Ferreira, M. F. F. (2012). *Estudo de Soluções de Revestimento de Fachada com Incorporação de Cortiça*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Fioriti, C. F., Marques, M. L., Akasaki, J. L., & Sousa, L. C. (2010). Influência de Diferentes Granulometrias de Resíduos de Pneus em Argamassas. Em *Congresso: APFAC, 2010*.
- First, W. (2013a). ARREFECEDORES | Wood First. Obtido 21 de Fevereiro de 2017, de <http://www.woodfirst.pt/arrefecedores>
- First, W. (2013b). MOINHOS DE MARTELOS REFINADORES | Wood First. Obtido 20 de Fevereiro de 2017, de <http://www.woodfirst.pt/moinhos-martelos-refinadores>
- Flores-Colen, I. (2009). *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manu-tenção preventiva*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Frade, D., Tadeu, A., Torres, I., Mendes, P. A., Simões, N., & Neves, A. (2012). Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça. Em *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*.
- Frutuoso, A. R. (2014). *Influência de agregados provenientes de RCD e cinzas volantes não-conformes em argamassas de cal aérea*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Garcia, D. P. (2010). *Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.
- Garcia, D. P. (2013). Pellets de Madeira: pelletizadoras e manutenção. Obtido 21 de Fevereiro de 2017, de <http://pelletsdemadeira.blogspot.pt/2013/08/pelletizadoras-e-manutencao-atencao-na.html>
- Henriques, F. (2011). *Comportamento higrotérmico de edifícios*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Huang, H., Jiao, Z., Chen, H., & Zhao, X. (2011). Study on ash melting and combustion characteristics of compound biomass pellets. *Proceedings - 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application, ISDEA 2010*, 2, 433–436. <https://doi.org/10.1109/ISDEA.2010.387>
- INE, & DGEG. (2011). *Inquerito ao consumo de energia doméstico 2010*. Lisboa.
- IPQ. (2000). *NP EN 933-1:2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Método de Peneiração*. Almada, IPQ.
- IPQ. (2002). *NP EN 1097-3:2002 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Almada, IPQ.
- IPQ. (2006). *NP EN 14146:2006 - Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico*. Almada, IPQ.
- IPQ. (2007). *NP EN 197-1:2001 - Cimento*. Almada, IPQ, Almada.
- IPQ. (2008). *NP EN 1936:2008 - Métodos de ensaio para pedra natural: Determinação das massas volúnicas real e aparente e das porosidades total e aberta*. Almada, IPQ.

- Kalembkiewicz, J., & Chmielarz, U. (2012). Ashes from co-combustion of coal and biomass: New industrial wastes. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.010>
- LNEC. (2002). Ficha de ensaio para revestimentos de paredes – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão. Lisboa. FE Pa 39.
- LNEC. (2005). Revestimento de Paredes. Aderência ao suporte após humedecimento (Relatório LNEC n.º 427/05-NRI).
- Machado, S. (2014). *Influência de agregados provenientes de RCD e cinzas volantes não-conformes no desempenho de argamassas de cimento*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Magelli, F., Boucher, K., Bi, H. T., Melin, S., & Bonoli, A. (2009). An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.016>
- Margalha, M. G. (2010). *Documento de apoio às aulas de conservação e recuperação do património*. Universidade de Évora.
- Martins, M. (2010). *Comportamento físico de argamassas de reboco com regranulado negro de cortiça*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Matias, G. (2014). *Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Mello, A. (2011). *Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental urbana, Universidade Federal da Bahia, Brasil.
- Melo, H. (2014). *Caracterização experimental do comportamento físico de argamassas de desempenho térmico melhorado*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Monteiro, E., Mantha, V., & Rouboa, A. (2012). Portuguese pellets market: Analysis of the production and utilization constrains. *Energy Policy*, 42, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.056>
- Mota, I. A., Pinto, M., Sá, J. V. e, Marques, V. S., & Ribeiro, J. F. (2005). *Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, ENDS 2005-2015*. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Nascimento, R. (2006). *Caracterização de Argamassas Industriais*. Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, Universidade de Aveiro.
- Neno, C. (2010). *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Nunes, L. J. R. (2015). *A utilização de biomassa como alternativa energética para a sustentabilidade e competitividade da indústria portuguesa*. Tese de Doutoramento em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Pedro, D. (2011). *Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pellets. (2011). Pellets o que são - Os Pellets - Biomassa - Energia Renovável. Obtido 20 de Fevereiro de 2017, de <http://ospellets.com/biomassa/o-que-sao-os-pellets/>
- Pereira, T. (2008). *Optimização das características de humedecimento e secagem de argamassas*. Dissertação para obtenção de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

- Pinho, F. (2011). *Materiais de Construção 2 - Argamassas*. Slides de apoio às aulas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Pinho, F. (2013). *Materiais de Construção 1 - Ligantes*. Slides de apoio às aulas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Piteira, R. (2015). *Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de borracha da recauchutagem de pneus*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCT-UNL, Lisboa.
- Priberam. (2017). Significado/definição de «Peletizar» no Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. Obtido 16 de Março de 2017, de <https://www.priberam.pt/dlpo/peletizar>
- Rato, V. (2006). *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- RILEM. (1980). *Water absorption under low pressure. Pipe method. Test n.ºII.4. Recommendations provisoires*. Paris.
- Sá, A. J. da F. e. (2009). *Caracterização da recolha de matéria-prima para a produção de pellets*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- Salústio, J. M. C. (2009). *Análise da viabilidade de serviços ESCO com base em soluções de aquecimento a Pellets*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Santos, C. P. dos, & Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios. ITE 50 (LNEC)*. Lisboa.
- Saracoglu, N., & Gunduz, G. (2009). Wood Pellets - Tomorrow's Fuel for Europe. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization & Environmental Effects*, 31(19), 1708–1718. <https://doi.org/Doi10.1080/15567030802459677>
- Secil. (2006). Processo de fabrico de cimento. Obtido 14 de Fevereiro de 2017, de http://www.secil.pt/default.asp?pag=proc_fabrico
- Secil. (2016). Ficha técnica do CEM II/B-L 32,5N, Versão 4.
- Sonebi, M., Lachemi, M., & Hossain, K. M. A. (2013). Optimisation of rheological parameters and mechanical properties of superplasticised cement grouts containing metakaolin and viscosity modifying admixture. *Construction and Building Materials*, 38, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.102>
- Torres, I., Matias, G., & Faria, P. (2016). Argamassas com introdução de resíduos. *2º Encontro nacional sobre qualidade e inovação na construção, QIC 2016*, 1–12.
- Varela, N., & Vieira, F. S. (2005). Cimento : Uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas. Em *1º Congresso nacional de argamassas de construção*. Lisboa.
- Veiga, M. do R. (1998). *Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Verde, P. (2013). O perigo do esgotamento dos recursos naturais do planeta - Pensamento Verde. Obtido 9 de Fevereiro de 2017, de <http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/perigo-esgotamento-recursos-naturais-planeta/>

Anexo I

PÓSTER DIVULGADO NA *GREEN BUSINESS WEEK* 2017

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS DE REBOCO COM WOOD PELLETS INCORPORADOS

Luís G. Baltazar*, Pedro Martinho

Departamento Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, 2829-516, Campus Caparica, Portugal

*e-mail: luis.baltazar@fct.unl.pt

Resumo

Ao longo dos últimos anos o sector da construção, consciente da importância da questão ambiental, tem procurado desenvolver produtos que consigam aliar ao desempenho técnico melhorado a preservação do meio ambiente. Neste sentido, tem-se vindo a verificar um número crescente de estudos [1,2,3] relacionados com a utilização de resíduos provenientes de outras indústrias como substituto de agregados naturais em diversos produtos cimentícios. Aliado a este empenho pelo desenvolvimento de produtos que sejam simultaneamente mais eficientes e sustentáveis, o presente estudo pretende avaliar uma nova aplicação para os *wood pellets* (granulado de madeira) e o impacto da utilização destes no desempenho de argamassas de cimento para revestimento de paredes. Especificamente pretende-se analisar a influência dos *wood pellets* (como substituto parcial da areia) nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas de reboco. Formularam-se argamassas de cimento com diferentes percentagens de substituição de areia por pellets de granulometria equivalente (10%, 20%, 30% e 40%). Os resultados obtidos evidenciam que a introdução dos *wood pellets* melhora de forma significativa algumas propriedades das argamassas com particular destaque para a condutibilidade térmica.

I. Enquadramento

A indústria da construção constitui um dos sectores com maior responsabilidade ambiental, sendo é responsável por 30% das emissões de carbono maioritariamente associado ao consumo energético do parque edificado [4]. Por sua vez, a nível mundial a indústria da construção consome mais matérias-primas que qualquer outra actividade económica [5], o que demonstra o impacto desta indústria na biodiversidade, exploração de recursos não renováveis e consequente produção de resíduos.

O sistema de revestimento à base de argamassa (reboco) é o mais utilizado na construção, representando cerca de 62% quando comparado com os restantes tipos de revestimento de aplicação corrente em paredes de edifícios (Fig.1). Neste sentido, pretende-se com a substituição da areia por *wood pellets* (Fig. 2) contribuir por um lado, para a redução do uso de recursos não renováveis, e, por outro, fomentar a melhoria do desempenho energético dos edifícios.

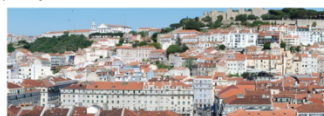


Fig. 1 - Cidade de Lisboa [6]



Fig. 2 - Wood pellets

II. Objectivos

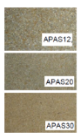
O presente estudo tem como objectivo avaliar o comportamento físico e mecânico de argamassas de cimento com a incorporação de *wood pellets*

Conjugar a preservação de recursos não renováveis com a utilização de resíduos



Wood pellets

Substituição do agregado (areia) por *wood pellets*



Arenas

III. Wood pellets

Os *wood pellets* possuem um conjunto de características que os distinguem de outros agregados, designadamente:

- leveza
- reciclável
- elasticidade
- baixa condutibilidade térmica



Fig. 3 - Produção wood pellets (adaptado de [7])

São maioritariamente utilizados como biocombustível e usam como matéria-prima resíduo de madeira. Têm um formato cilíndrico com 6 a 8 milímetros de diâmetro e possuem entre 10 a 40 milímetros de comprimento.

IV. Ensaios experimentais

Adequação da granulometria dos pellets



Fig. 4 - Pellets moídos

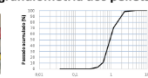


Fig. 5 - Curva granulométrica - pellets moídos

Resistência mecânica



Fig. 6 - Ensaio à flexão



Fig. 7 - Ensaio à compressão



Fig. 8 - Ensaio aderência ao suporte

Porosidade aberta

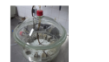


Fig. 9 - Ensaio para saturação por água

Comportamento face à água



Fig. 10 - Absorção de água por capilaridade

Condutibilidade térmica



Fig. 11 - Equipamento ensaio de condutibilidade térmica

V. Resultados

Os ensaios de resistência mecânica aos 28 dias evidenciam uma diminuição da resistência à flexão e à compressão com o incremento da quantidade de *wood pellets* nas composições em estudo

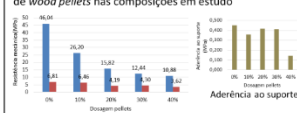


Fig. 12 - Resistência mecânica (flexão e compressão) em função da quantidade de wood pellets

Como seria expectável, verifica-se que os *wood pellets* minimizam claramente a massa volumica das argamassas e aumentam a porosidade aberta

Promovendo uma maior permeabilidade da argamassa ao vapor de água

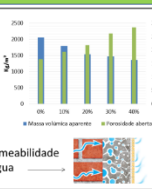


Fig. 13 - Massa volumica e porosidade aberta em função da quantidade de wood pellets

Com o aumento da incorporação de *wood pellets* verifica-se a diminuição da absorção de água por capilaridade até uma dosagem de 20%.



Fig. 14 - Absorção de água por capilaridade em função da quantidade de wood pellets

Os *wood pellets* melhoram o desempenho térmico das argamassas. A introdução de *wood pellets* numa argamassa de cimento reduz a condutibilidade térmica até 67%.



Fig. 15 - Condutibilidade térmica em função da quantidade de wood pellets

VI. Conclusões

A introdução de *wood pellets* em substituição da areia altera de forma significativa as características de argamassas à base de cimento. Estas alterações são devidas à forma, granulometria e às próprias características físicas, químicas e mecânicas dos pellets. A análise dos resultados permite concluir que a incorporação de *wood pellets* em argamassas conduz a:

- Redução das resistências mecânicas – garantindo o valor mínimo regulamentar e adequada aderência
- Aumento da porosidade aberta – maior permeabilidade ao vapor de água
- Diminuição da massa volumica – argamassas mais leves
- Diminuição da condutibilidade térmica – maior eficiência energética e menor risco de condensações superficiais

Em suma pode-se concluir que a incorporação de pellets em argamassas é uma solução a considerar no desenvolvimento de argamassas simultaneamente mais eficientes e sustentáveis.

Referências bibliográficas

1. Martins, M. (2010) *Comportamento físico de argamassas de reboco com granulado negro de cortiça*. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Dissertação de Mestrado
2. Barra A. (2011) *Caracterização física e mecânica de argamassas não estruturais com agregados finos reciclados*. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de Mestrado
3. Piteira R. (2015) *Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de borraça da recauchutagem de pneus*. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Dissertação de Mestrado
4. INE, DGEG (2011) - *Inquérito ao consumo de energia no sector doméstico 2010*, edição 2011, Lisboa
5. Torgal, F., Pacheco, J., Said (2010) - *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*, Edições TECNIMHO
6. Sítio na internet - <https://sites.fct.unl.pt/ecocore/pages/curriculum> - consultado em 9 Março de 2017
7. Sítio na internet - <http://www.avimex.com/Wood-Pellet-Mill/Ring-Die-Pellet-Mills.html> - consultado em 9 Março de 2017

Figura A.1 – Póster de divulgação, exposto na Green Business Week 2017

Anexo II

FICHAS DE DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO DAS AREIAS



1515-CPD-0205



13

DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

Nº 6/2013

1. Código de identificação único do produto-tipo: **Agregado 0/2**
2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do nº 4 do artigo 11º: **Refª APAS 12 (registo na guia de remessa)**
3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante: **NP EN 13139:2005; NP EN 13139:2005/AC:2010 (agregado para argamassas).**
4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11º: **Areipor - Areias Portuguesas, Lda, Rua da Alameda, Ap 755 - 2671-601 Bucelas**
E-mail: geral@areipor.mail.pt Telefone: 21 968 80 10 Fax: 21 968 80 19
5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V: **Sistema de avaliação 2+**
6. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:
E.I.C. - Empresa Internacional de Certificação, organismo notificado, nº 1515, realizou a inspeção inicial e o acompanhamento, apreciação e aprovação contínuos do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2+, e emitiu o certificado de conformidade do controlo da produção em fábrica, nº 1515-CPD-0205 de 30 de maio de 2013 e válido desde que não se alterem significativamente as condições definidas nas normas harmonizadas ou as condições de fabrico e do controlo de produção em fábrica.

7. Desempenho declarado

Características	Desempenho	Norma harmonizada
Dimensão Nominal - Tamanho das partículas	0/2	NP EN 13139:2005 NP EN 13139:2005/AC:2010
Descrição petrográfica	Areia quartzosa com dureza elevada. Elemento rolado de forma alongada, textura granoblástica, poligonal e heterogranular constituída por Quartzo, Zircão e Turmalina.	
Teor de finos	Categoria 1	
Massa Volumica*	$\rho_a = 2,69$; $\rho_{10} = 2,67$; $\rho_{sd} = 2,68$	
Absorção de água*	0,3%	
Teor de cloretos	< 0,01%	
Teor de enxofre total	< 0,1%	
Teor de húmus	Mais claro que padrão	

Notas: Resultados que não constam, não foram realizados ou não solicitados.
 A origem dos valores dos ensaios químicos são da responsabilidade do produtor da matéria-prima.
 * Propriedades determinadas em agregado com a mesma origem (agregado 0/2 "APAS 20")

8. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 7.
 A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.
 Assinado por e em nome do fabricante por:

Vitor Mordido, Responsável pelo Sistema de Controlo em Fábrica

(assinatura)

Bucelas, 17 fevereiro 2014



1515-CPD-0205



13

DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

Nº 10/2013

1. Código de identificação único do produto-tipo: **Agregado 0/2**
2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do nº 4 do artigo 11º: **Refª APAS 20 (registo na guia de remessa)**
3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante: **NP EN 13139:2005; NP EN 13139:2005/AC:2010 (agregado para argamassas).**
4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 5 do artigo 11º: **Areipor - Areias Portuguesas, Lda. Rua da Alameda, Ap 755 - 2671-601 Bucelas**
E-mail: geral@areipor.mail.pt Telefone: 21 968 80 10 Fax: 21 968 80 19
5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V: **Sistema de avaliação 2+**
6. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:
E.I.C. - Empresa Internacional de Certificação, organismo notificado, nº 1515, realizou a inspeção inicial e o acompanhamento, apreciação e aprovação continuos do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2+, e emitiu o certificado de conformidade do controlo da produção em fábrica, nº 1515-CPD-0205 de 30 de maio de 2013 e válido desde que não se alterem significativamente as condições definidas nas normas harmonizadas ou as condições de fabrico e do controlo de produção em fábrica.

7. Desempenho declarado

Características	Desempenho	Norma harmonizada
Dimensão Nominal - Tamanho das partículas	0/2	NP EN 13139:2005 NP EN 13139:2005/AC:2010
Descrição petrográfica	Areia quartzosa com dureza elevada. Elemento rolado de forma alongada, textura granoblástica, poligonal e heterogranular constituída por Quartzo, Zircão e Turmalina.	
Teor de finos	Categoria 1	
Massa Volúmica	$\rho_s = 2,69$; $\rho_{10} = 2,67$; $\rho_{200} = 2,68$	
Absorção de água	0,3%	
Teor de cloretos	< 0,01%	
Teor de enxofre total	< 0,1%	
Teor de húmus	Mais claro que padrão	

Notas: Resultados que não constam, não foram realizados ou não solicitados.
 A origem dos valores dos ensaios químicos são da responsabilidade do produtor da matéria prima.

8. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 7.
 A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.
 Assinado por e em nome do fabricante por:

Vitor Mordido, Responsável pelo Sistema de Controlo em Fábrica

(assinatura)

Bucelas, 17 fevereiro 2014



1515-CPD-0205



13

DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

Nº 5/2013

1. Código de identificação único do produto-tipo: **Agregado 0/1**
2. Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do nº 4 do artigo 11º: **Refº APAS 30 (registo na guia de remessa)**
3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante: **NP EN 13139:2005; NP EN 13139:2005/AC:2010 (agregado para argamassas).**
4. Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante, nos termos do nº 3 do artigo 11º: **Areipor - Areias Portuguesas, Lda. Rua da Alameda, Ap 755 - 2671-601 Bucelas**
E-mail: geral@areipor.mail.pt Telefone: 21 968 80 10 Fax: 21 968 80 19
5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção tal como previsto no anexo V: **Sistema de avaliação 2+**
6. No caso de uma declaração de desempenho relativa a um produto de construção abrangido por uma norma harmonizada:
E.I.C. - Empresa Internacional de Certificação, organismo notificado, nº 1515, realizou a inspeção inicial e o acompanhamento, apreciação e aprovação continuos do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2+, e emitiu o certificado de conformidade do controlo da produção em fábrica, nº 1515-CPD-0205 de 30 de maio de 2013 e válido desde que não se alterem significativamente as condições definidas nas normas harmonizadas ou as condições de fabrico e do controlo de produção em fábrica.

7. Desempenho declarado

Características	Desempenho	Norma harmonizada
Dimensão Nominal - Tamanho das partículas	0/1	NP EN 13139:2005 NP EN 13139:2005/AC:2010
Descrição petrográfica	Areia quartzosa com dureza elevada. Elemento rolado de forma alongada, textura granoblástica, poligonal e heterogranular constituída por Quartzo, Zircão e Turmalina.	
Teor de finos	Categoria 1	
Massa Volumica*	$\rho_k = 2,69; \rho_{1,2} = 2,67; \rho_{sd} = 2,68$	
Absorção de água*	0,3%	
Teor de cloretos	< 0,01%	
Teor de enxofre total	< 0,1%	
Teor de húmus	Mais claro que padrão	

Notas: Resultados que não constam, não foram realizados ou não solicitados.
 A origem dos valores dos ensaios químicos são da responsabilidade do produtor da matéria-prima.
 * Propriedades determinadas em agregado com a mesma origem (agregado 0/2 "APAS 30")

8. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 7.
 A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.
 Assinado por e em nome do fabricante por:

Vitor Mordido, Responsável pelo Sistema de Controlo em Fábrica

(assinatura)

Bucelas, 17 fevereiro 2014

Anexo III

Ficha técnica do Superplastificante



CHRYSOFLUID AG

Superplastificante

DESCRIÇÃO

CHRYSOFLUID AG é um superplastificante especialmente formulado, cujo principal componente é um polímero de síntese que pertence à família dos polinaftalenos.

CHRYSOFLUID AG exerce uma forte acção dispersante sobre os elementos finos dos betões e favorece as reacções de hidratação do cimento.

CHRYSOFLUID AG permite a realização de betões de altas prestações e de grande durabilidade, com uma relação água/cimento baixa, muito homogêneos, sem segregação e conseguindo uma boa coesão do betão.

Características

- Aspecto: líquido
- Cor: Castanho-escuro
- Densidade a 20°C: 1,20 g/cm³
- Ponto de congelação: -5°C
- Conteúdo de iões (Cl⁻): isento (≤ 0,1%)
- pH: 7

Apresentação e conservação

CHRYSOFLUID AG é fornecido a granel, em contentores de 1.000L e em bidões de 215L. O seu período de conservação é de 12 meses nas embalagens de origem fechadas e não deterioradas.

APLICAÇÕES

CHRYSOFLUID AG recomenda-se para todas as classes de cimentos, excepto para cimentos brancos e aluminosos, nos seguintes sectores:

- Betões pré-esforçados
- Betões para obras com grande densidade de armaduras
- Lajes industriais
- Betões de altas resistências mecânicas.

Modo de emprego

A gama de dosificações oscila entre 0,8% e 3% sobre o peso do cimento, sendo a dosificação normal de 1%. A melhor dosificação será determinada depois de ensaios, tendo em conta as características reológicas e as resistências mecânicas desejadas para o betão.

CHRYSOFLUID AG é totalmente solúvel em água e pode incorporar-se:

- Com água da amassadura.
- No final da amassadura. Neste caso a amassadura deverá ser prolongada por mais 2 min/m³ de betão.
- Introdução fraccionada, parte junto com a água da amassadura e o resto no final da amassadura.

O nosso departamento técnico está à disposição do cliente para definir as condições óptimas de dosagem e o melhor modo de introdução.

A composição de betões fluidos ou de altas resistências, deve realizar-se depois de determinados estudos. A CHRYSO coloca à sua disposição o serviço de formulação de betões assistida por computador, para determinar a melhor dosagem.

Precauções

CHRYSOFLUID AG não apresenta perigo de manipulação. Caso congele, depois de descongelar é suficiente homogeneizar mediante uma simples agitação.

Para completar a informação, consultar a Ficha de Segurança.

As informações e detalhes que aqui figuram baseiam-se nos nossos conhecimentos, ensaios de laboratório e em experiências práticas actuais. Segundo as condições das obras, podem apresentar-se variações nos dados acima indicados. Por tal motivo, a nossa garantia limita-se unicamente à qualidade do produto fornecido. Devem realizar-se ensaios preliminares nas obras para determinar se o modo de emprego e as condições de utilização são satisfatórias. O nosso departamento técnico coloca-se à inteira disposição do comprador para ajudá-lo a resolver os seus problemas.